



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE HIDALGO**  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

---

---

**EFFECTO DEL CONTENIDO DE MATERIA GRASA Y SÓLIDOS NO  
GRASOS DE LA LECHE SOBRE LAS PROPIEDADES  
FUNCIONALES DEL FUNDIDO DEL QUESO TIPO OAXACA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**P. D. I. A. GEMMA BAUTISTA SERRANO**

**Dirección: Dra. Irma Caro Canales**

**Asesor Externo: Dr. Javier Mateo Oyagüe**

Tulancingo de Bravo Hgo., Noviembre 2008



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

Tulancingo de Bravo, Hgo., a 08 de Octubre de 2008

**A QUIEN CORRESPONDA**

A través de este conducto, los integrantes de la Comisión Revisora de la Tesis titulada “**Efecto del contenido de materia grasa y sólidos no grasos de la leche sobre las propiedades funcionales del fundido del queso tipo Oaxaca**” que presenta la Pasante de Ingeniería en Alimentos Gemma Bautista Serrano, hacemos de su conocimiento que hemos revisado el contenido y forma de la mencionada tesis y consideramos que reúne los elementos suficientes para la defensa oral en el Examen de Licenciatura. Por lo anterior descrito expresemos la aprobación para la impresión de esta tesis.

**Atentamente**

**La Comisión Revisora**

Dra. Irma Caro Canales  
Dr. Javier Mateo Oyagüe  
M. en C. Sergio Soto Simental  
Dr. Juan Francisco Hernández Chávez  
M en A. Melitón Jesús Franco Fernández  
Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez  
Dr. Martín Meza Nieto

---

---

## *AGRADECIMIENTOS*

A DIOS y a la VIDA por permitirme llegar a este momento tan especial.

A mi FAMILIA por todo el apoyo brindado durante toda mi formación académica y por estar siempre conmigo.

DRA IRMA CARO CANALES. Gracias por darme la oportunidad de trabajar este proyecto con usted y por brindarme su amistad y confianza a lo largo de la realización de la tesis tan importante.

DOC. JAVIER MATEO OYGÜE. No tengo palabras para agradecer todo su apoyo y dedicación para la realización de este proyecto y gracias por su amistad.

M.C. SERGIO SOTO SIMENTAL (COMPA). Gracias por todo su apoyo incondicional en la realización de este trabajo. MUCHAS GRACIAS COMPA por su amistad y confianza.

DOC. JUAN FRANCISCO HERNANDEZ CHAVEZ. Gracias por todos los consejos y las contribuciones que siempre me brindo y lo más importante su amistad.

DOC. MARTIN MEZA NIETO. Aun cuando no fue mi profesor como tal quiero agradecer sus comentarios para la mejora de ese trabajo de investigación, gracias por su amistad (Martincillo).

DRA. HAYDE ALFARO RODRIGUEZ. Muchas gracias por sus consejos y comentarios acerca de la parte experimental de análisis sensorial.

ING. JULIAN BAUTISTA URBANO. Gracias primo por todo tu apoyo y amistad incondicional durante toda la carrera. Muchas gracias lejos de ser mi primo eres mi amigo.

MARIANA TREJO GUERRERO (MARA). Muchas gracias por todo el apoyo brindado y por tu amistad. De verdad que siempre estuviste en esos momentos tan difíciles siempre apoyándome dándome fuerza y superando juntas muchas pruebas durante toda la carrera.

A mis amigas de carrera: MARIANA, GABY, IRLANDA, LAURA, MAURA, ANA LAURA, ROSY, MARILU, GINA Y ILUZAIN. Gracias por todo el apoyo brindado y por permitirme compartir momentos tan agradables juntas de verdad MUCHAS GRACIAS SIEMPRE CONTARAN CONMIGO.

GRACIAS a mis amigos de veterinaria que siempre estuvimos juntos en la buenas y en las malas, gracias por su amistad.

A todas aquellas personas que compartieron una parte tan importante conmigo, gracias por su amistad.

A MIS PRIMAS (DULCE Y JESSICA) Y A MIS HERMANAS (ROSY Y NELLY) por su apoyo y amistad incondicional.

MUCHAS GRACIAS A TI por dejarme formar parte de tu vida y brindarme tu cariño y amistad.

---

---

## *DEDICATORIAS*

A DIOS.

Por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y por darme la oportunidad de compartirlo con mi familia.

ESTE TRABAJO ESTA DEDIACADO MUY ESPECIAL A **MIS PADRES** POR DARME LA VIDA Y LA OPORTUNIDAD DE SEGUIR EN MIS ESTUDIOS.

A MIS HERMANOS

Siempre estuvieron presentes en este proyecto. Gracias por todo el apoyo incondicional, siempre se los agradeceré ya que sin su apoyo no podría continuar.

**MUCHAS GRACIAS HERMANOS.**

A LA FAMILIA BAUTISTA URBANO

Siempre estuvo apoyándome y de verdad les agradezco por todo su apoyo y muestras de cariño que siempre recibo de su parte, saben que somos una sola familia y siempre contarán conmigo.

A MIS SOBRINITOS. IRIS, JAQUELINE, LISANDRO Y AL PEQUEÑO HECTOR. Gracias por su muestra de cariño y apoyo los quiero mucho.

---

---

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	JUSTIFICACIÓN.....	2
3	OBJETIVOS.....	3
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
4	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1	Producción y consumo de leche.....	4
4.2	Producción de quesos.....	4
4.3	Definición y clasificación de los quesos.....	5
4.4	Quesos de pasta hilada.....	7
4.5	El queso Oaxaca.....	8
4.6	Propiedades funcionales relacionadas con el fundido de los quesos.....	12
4.6.1	Textura de los quesos de pasta hilada.....	13
4.6.2	Color de los quesos de pasta hilada.....	15
4.6.3	Fundido de los quesos de pasta hilada.....	16
4.7	Efecto de la composición de la leche y la composición del queso sobre las propiedades funcionales de los quesos de pasta hilada.....	19
4.7.1	Composición de la leche.....	19
4.7.2	Efecto de la composición de la leche sobre la composición del queso.....	21
4.7.3	Efecto de la composición del queso sobre sus propiedades funcionales.....	22
5	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1	Localización del experimento.....	25
5.2	Manejo de las muestras.....	25
5.3	METODOLOGÍA ANALÍTICA.....	28
5.3.1	Contenido de especies químicas de interés tecnológico en el queso Oaxaca elaborado con leche con distintos porcentajes de grasa y sólidos no grasos.....	28
5.3.2	Propiedades funcionales previas al fundido del queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos porcentajes de grasa y sólidos no grasos.....	31
5.3.2.1	Capacidad de retención de suero y grasa.....	31
5.3.3	Propiedades funcionales de fundido en el queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos porcentajes de grasa y sólidos no grasos.....	31
5.3.3.1	Test de Schreiber, determinación de la extensión del queso y liberación de grasa durante el fundido a 225°C durante 3min.....	32
5.3.3.2	Test de Schreiber modificado, determinación del tiempo y porcentaje de extensión durante el fundido a 280°C.....	33
5.3.3.3	Prueba de fundido del queso en tubo, determinación de la extensión del queso fundido en un tubo a 180°C durante 6min.....	34
5.3.3.4	Test de Gerber modificado, determinación de la capacidad de retención de grasa del queso fundido.....	34
5.3.3.5	Análisis del comportamiento del queso fundido frente a una fuerza extrusión inversa, determinación de diversas propiedades de textura del queso tipo Oaxaca fundido.....	35

---

---

5.3.3.6	Determinación de la cinética de fundido del queso tipo Oaxaca: cambios en el área y el color del queso al ser calentado a diferentes temperaturas (entre 120 – 200°C) durante periodos de tiempo entre 0 y 20min.....	36
5.3.3.7	Análisis sensorial .....	37
5.3.3.8	Análisis Estadístico .....	38
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
6.1	Diversos compuestos del queso con interés tecnológico .....	39
6.2	Liberación de suero y grasa del queso sin fundir .....	41
6.3	Pruebas empíricas de extensión y tiempo de fundido, extrusión y liberación de grasa del queso durante el fundido. ....	42
6.4	Cambios en el color y en la extensión durante el fundido a distintas temperaturas .....	57
7	CONCLUSIONES .....	72
8	BIBLIOGRAFIA .....	75
9	ANEXOS .....	81

---

---

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Clasificación oficial de los quesos mexicanos.....	7
2	Parámetros fisicoquímicos del queso tipo Oaxaca elaborado en el estado de Hidalgo.....	11
3	Niveles de materias grasas utilizados.....	26
4	Nivel de Sólidos no grasos utilizados.....	26
5	Valor de pH y composición media del queso tipo Oaxaca elaborado con leche estandarizada para conseguir un 9.0% de sólidos no grasos y distintos niveles de grasa (mediante descremado).....	26
6	Valor de pH y composición media del queso tipo Oaxaca elaborado con leche estandarizada para conseguir un 3.5% de grasa y distintos niveles de sólidos no grasos (mediante la adición de concentrado proteico de leche).....	27
7	Especies químicas de interés tecnológico del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y 9% de sólidos no grasos.....	40
8	Especies químicas de interés tecnológico del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (SNG) y 3.5% de grasa.....	41
9	Liberación de suero y grasa por centrifugación (expresados en %) en el queso Oaxaca (no fundido) elaborado con leche con distintos niveles grasa y 9% de sólidos no grasos.....	42
10	Liberación de suero y grasa por centrifugación (expresados en %) en el queso Oaxaca (no fundido) elaborado con leche distintos niveles de sólidos no grasos (SNG) y 3.5% de grasa.....	42
11	Pruebas empíricas de extensión del queso al fundir y tiempo de fundido, fuerza y esfuerzo de extrusión y pérdida de grasa del queso Oaxaca fundido, con distintos niveles grasa y 9% de sólidos no grasos.....	43

---

<b>12</b>	Pruebas empíricas de extensión del queso al fundir y tiempo de fundido, fuerza y esfuerzo de extrusión y pérdida de grasa del queso Oaxaca fundido, con distintos niveles de sólidos no grasos (SNG) y un 3.5% de grasa.....	45
<b>13</b>	Coeficientes de correlación (R) obtenidos por regresión lineal entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en queso Oaxaca fundido, con distintos niveles grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y un 9% de sólidos no grasos (n = 9).....	46
<b>14</b>	Coeficientes de correlación (R) obtenidos por regresión lineal entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en el queso Oaxaca fundido, elaborado con leche distintos niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%) y un 3.5% de grasa (n = 9).....	48
<b>15</b>	Coeficientes de correlación lineal (R) entre distintos parámetros de composición del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y un 9% de sólidos no grasos (n = 9).	49
<b>16</b>	Coeficientes de correlación lineal (R) entre distintos parámetros de composición del queso Oaxaca elaborado con leche distintos niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%) y 3.5% de grasa.....	50
<b>17</b>	Coeficientes de correlación lineal (R) entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en queso Oaxaca fundido y los parámetros de composición de queso Oaxaca con distintos niveles grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y un 9% de sólidos no grasos.....	52
<b>18</b>	Coeficientes de correlación lineal (R) entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en queso Oaxaca fundido y los parámetros de composición de queso Oaxaca con distintos niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%) y 3.5% de grasa.....	53
<b>19</b>	Color del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa y un 9% de sólidos no grasos, antes y después de su calentamiento (tiempo, temperatura).....	59
<b>20</b>	Color del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos y un 3.5% de grasa, antes y después de su calentamiento (tiempo, temperatura).....	60

---



---

---

<b>21</b>	Resultados del análisis sensorial del queso Oaxaca fundido elaborado con leche con distintos niveles grasa y un 9% de sólidos no grasos.....	67
<b>22</b>	Resultados del análisis sensorial del queso Oaxaca fundido elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos y un 3.5% de grasa.....	68
<b>23</b>	Correlación entre el grado de satisfacción subjetiva valoración de quesadilla y las otras pruebas sensoriales realizadas en el queso Oaxaca fundido elaborado con leche con distintos niveles de materia grasa y sólidos no grasos.....	67
<b>24</b>	Coefficientes de correlación lineal entre la estimación sensorial del % de grasa liberada en la superficie y las pruebas empíricas de pérdida de grasa del queso Oaxaca fundido elaborado con distintos niveles de materia grasa y sólidos no grasos.....	68
<b>25</b>	Coefficientes de correlación lineal entre la longitud de estirado con tenedor y las pruebas empíricas de extensión y tiempo de fundido y extrusión del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y sólidos no grasos.....	69
<b>26</b>	Coefficientes de correlación lineal entre la presencia de grumos, el grado de satisfacción, las pruebas empíricas de liberación de grasa, extensión, tiempo de fundido y extrusión del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y sólidos no grasos.....	70
<b>27</b>	Correlación entre las pruebas sensoriales y los parámetros de composición proximal de interés tecnológico en el queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de materia grasa y sólidos no grasos.....	71

---

---

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Diagrama de flujo de elaboración del queso Tipo Oaxaca.....	9
2	Perfil obtenido del análisis de extrusión inversa de una muestra de queso tipo Oaxaca fundido a 70°C.....	47
3	Cargas obtenidas en el análisis de componentes principales con los parámetros de composición independientes entre sí y los parámetros funcionales de extensión de fundido de liberación de grasa en el fundido y del ensayo de extrusión en el queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa (1.8, 2.8 y 3.5) y un 9% de sólidos.....	55
4	Cargas obtenidas en el análisis de componentes principales con los parámetros de composición independientes entre sí y los parámetros funcionales de extensión de fundido según el test de Schreiber, de liberación de grasa en el fundido y del ensayo de extrusión en el queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%) y 3.5% de grasa.....	56
5	Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa (C, 3.5%; MG, 2.8%; BG, 1,8%) y 9% de sólidos no grasos; i, 120 °C; ii, 140°C; iii, 160°C; continua.....	62
5.1	Continuación. Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa (C, 3.5%; MG, 2.8%; BG, 1,8%) y 9% de sólidos no grasos; iv, 180°C; v, 200°C.....	63
6	Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles sólidos no grasos (C, 9%; MS, 10%; AS, 11%) y 3.5% de grasa; i, 120°C; ii, 140°C; iii, 160°C; continúa.....	64
6.1	Continuación. Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles sólidos no grasos (C, 9%; MS, 10%; AS, 11%) y 3.5% de grasa; iv, 180°C; v, 200°C.....	65

---

---

## RESUMEN

El queso Oaxaca es un queso de pasta “hilada” y posiblemente es el queso que se elaboró en mayor cantidad en México. Unas de las principales propiedades funcionales de las proteínas del queso Oaxaca son; la aptitud para el fundido y el deshebrado “pechuga de pollo”. Estas características son importantes en la preparación de diversos platillos mexicanos. Sin embargo, no existe hasta el momento bibliografía sobre esos parámetros y más aún de cómo influye el contenido de materia grasa y el incremento de sólidos no grasos en las propiedades funcionales del queso Tipo Oaxaca.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del descremado y el aumento de sólidos no grasos (SNG) de la leche sobre las propiedades funcionales de fundido del queso Oaxaca.

Se analizaron 18 lotes de queso Oaxaca elaborados en el taller de lácteos del Instituto de Ciencias Agropecuarias, bajo condiciones estándar. Fueron elaborados con leche con tres niveles de grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y los otros nueve con tres niveles de SNG (9, 10, 11%), agregando a la leche concentrado proteico de leche (MPC) en polvo con el 40% de proteína. Se determinó lactosa, galactosa, ácido láctico, sal, calcio, fósforo, liberación de suero y grasa en el queso sin fundir, pruebas empíricas para evaluar el fundido (extensión del queso en base plana, deslizamiento en tubo, tiempo de fundido, un test de extrusión desarrollado en el laboratorio y test de liberación de grasa del queso durante el fundido). Se realizaron estudios cinéticos de extensión y modificación del color durante el fundido a distintas temperaturas. Se realizó un análisis sensorial de la apariencia del queso fundido evaluándose la liberación de grasa, estirado de la hebra, presencia de grumos y apariencia general.

Mediante el estudio se ha constatado que el descremado de la leche hace que los quesos Oaxaca presenten menor porcentaje de extensión durante el fundido, mayor tiempo de fundido, mayor viscosidad de la masa fundida, menor liberación de grasa y menor velocidad de fundido. Además, los quesos elaborados con leche

---

---

descremada fueron los más apreciados por los catadores ya que presentaron menor presencia de grumos, menor liberación de grasa y mayor longitud de hebra. Así mismo, los quesos elaborados con leche descremada necesitan mayor temperatura para fundirse y extenderse que los elaborados con leche entera. La mayoría de estos hechos se pueden atribuir al menor contenido en grasa sobre extracto seco y en calcio sobre sólidos no grasos de los quesos elaborados con leche descremada.

Por otro lado, la adición de MPC a la leche para hacer queso Oaxaca implica que los quesos se extiendan menos al fundir y que fundan más tarde, que presenten una masa fundida con una extrusión que requiere más fuerza y que pierdan menor cantidad de grasa al fundir. No obstante, el efecto de la adición del MPC es más moderado y menos evidente que el efecto que tuvo el descremado, no encontrándose diferencias significativas en el análisis sensorial entre quesos elaborados con leche con distintos niveles de SNG. Los efectos de la adición de MPC a la leche sobre el fundido pueden atribuirse principalmente a la disminución en la cantidad de grasa sobre extracto seco del queso y el aumento del contenido en calcio sobre sólidos no grasos.

---

---

# 1 INTRODUCCIÓN

El término latino de la palabra queso es “caseus”. La FAO (Food and Agricultural Organization) ha definido el queso como un producto fresco o madurado obtenido por drenaje (del líquido) tras la coagulación de la leche, crema, leche desnatada total o parcialmente, grasa láctea o una combinación de estos componentes (Scott, 1991).

En México se fabrican diversos tipos de quesos frescos, entre los que cabe destacar el queso tipo Oaxaca, que pertenece al grupo de los quesos de pasta hilada según NOM 121-SSA1-1994. El procesado de este queso se distingue por incluir un tratamiento de amasado o malaxado de la cuajada caliente, una vez que ésta acidificada (20-22°D) y un estirado posterior de la misma. Este tratamiento convierte a la cuajada en una masa fundida que después de ser estirada adquiere una microestructura fibrosa orientando sus fibras proteicas en la dirección de la tensión ejercida. De esta forma el producto final adquiere una textura fibrosa característica (Caro *et al.*, 1999), puede compararse con las fibras de la pechuga de pollo cocida. El queso se caracteriza por tener un alto contenido de humedad, sabor suave y no tener corteza. El queso es apreciado por sus propiedades de fundido, que se pueden cuantificar mediante el tiempo que tardan los trozos de queso en mostrar una consistencia semilíquida.

Actualmente el queso Oaxaca es uno de los productos lácteos más comercializados en nuestro país (comunicación personal Caro 2008). Concretamente, en la Región del Valle de Tulancingo, que es una de las más importantes en el estado de Hidalgo en cuanto a la producción de leche y quesos, procesándose anualmente 350 miles de L/día de leche en mas de 56 queserías, el producto fabricado en mayor cantidad es el queso tipo Oaxaca (Comisión Estatal de la Leche, 2006). El volumen de leche procesada podría ascender a 800,000 L/día lo que representa en queso aproximadamente 80 toneladas, de esta cantidad el 90% es destinada a la elaboración del queso tipo Oaxaca (CEL, 2006). La producción de quesos en esta región tiene un carácter marcadamente artesanal, y la calidad de la leche industrializada así como la de los quesos son muy heterogéneas.

---

---

## 2 JUSTIFICACIÓN

Se ha estudiado por el grupo de investigación (tesistas: Garcia, 2006, Carmona, 2006 y Monroy, 2007) diversos aspectos del queso Oaxaca elaborado en el Valle de Tulancingo Hidalgo como son: la estandarización para elaborar el queso tipo Oaxaca con leche pasteurizada, la caracterización físico-química, el cálculo del rendimiento quesero y como afecta la composición de la leche en el rendimiento. Sin embargo, de acuerdo a la bibliografía consultada no existen estudios sobre las propiedades funcionales del queso tipo Oaxaca, más aún, de los métodos de fundido más apropiados y como afecta la composición de la leche, especialmente la cantidad de materia grasa y proteínas lácteas sobre las propiedades funcionales de queso tipo Oaxaca.

Otras propiedades importantes del fundido del queso tipo Oaxaca son: el color antes del fundido y después del fundido, así como el porcentaje de extensión a las temperaturas (entre 60 y 220°C) a las cuales es sometido el queso en el momento de utilizarlo como ingrediente en diversos platillos. Estas pruebas se realizan en las industrias de forma empírica y por lo tanto no permiten a los industriales dar un seguimiento, además de no proporcionar datos para mejorar la calidad del queso.

Por lo tanto, se considera necesario conocer como afectan los componentes de la leche a las propiedades funcionales del queso tipo Oaxaca.

---

---

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Proporcionar conocimientos sobre las propiedades funcionales del queso tipo Oaxaca, para mejorar la calidad de este tipo de queso ampliamente elaborado en México.

### 3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- ❖ Determinar el efecto de los contenidos de materia grasa y sólidos no grasos de la leche usados en la elaboración del queso tipo Oaxaca sobre las propiedades funcionales del fundido del queso.
- ❖ Evaluar la influencia del contenido de materia grasa (modificado por descremado) y en sólidos no grasos (modificado mediante la adición de concentrado proteico) de la leche sobre algunos parámetros químicos de interés tecnológico (contenido en ácidos orgánicos, azúcares, elementos minerales), diversas características funcionales previas al fundido (color, retención de suero) y relativas al fundido (extensión durante el fundido, tiempo de fundido, cambio de color, textura del queso fundido, capacidad de retención de grasa) y varias propiedades sensoriales de apariencia del queso Oaxaca fundido.

---

---

## 4 REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.2 Producción y consumo de leche

La producción mundial de leche de bovino ha mantenido, a partir de 1999, un proceso permanente de crecimiento de 558 millones de toneladas por año. La mayoría de los países considera la producción y abasto de leche como una prioridad nacional, por lo cual establecen políticas de proteccionismo para el sector. No obstante, países desarrollados como Estados Unidos, Canadá, Australia, Nueva Zelanda y muchos países de la Unión Europea, producen un gran volumen de leche, y sus excedentes terminan vendiéndose en el mercado internacional, distorsionando fuertemente los precios del producto (FAO, 1999).

La producción de leche de bovino en México fue de 9,854, 805 millones de litros en el año 2005 y tuvo un crecimiento anual del 0.7% (SAGARPA, 2005). Dicha producción se concentra principalmente en los estados de Jalisco con 1, 674,843 L/año, Coahuila 1, 246,740L/año, Durango 1, 013,415L/año, Chihuahua 816,551L/año, Veracruz 670,057L/año, Guanajuato 665,007L/año, Estado de México 463,777L/año, Hidalgo 445,465L/año, Aguascalientes 338,373L/año, representando conjuntamente el 731% de la producción nacional. Cabe destacar que en los Estados de Durango y Coahuila se encuentra ubicada La Región Lagunera, la cuenca lechera más importante del país (SIAP, 2006).

### 4.3 Producción de quesos

La producción total de quesos en el mundo es de 18,631 toneladas (FAOSTAT, 2006). La elaboración de quesos a nivel mundial ha mostrado un importante crecimiento, alrededor de un 15%, en los últimos 6 años.

La mayor producción se concentra en la Unión Europea con el 41% del total. La Unión Europa esta conformada por Francia la cual constituye el 28% del total a nivel continente, cuya producción se ha mantenido en niveles estables durante los últimos años. Alemania aporta el 17%, Italia el 16% y Holanda el 10% (FAO, 2006).

América del Norte es el segundo bloque en importancia con el 30% de la producción mundial, donde Estados Unidos representa sobre el 80% de esta



---

---

producción, muy por encima de Canadá y México. América del Sur, Asia y Oceanía presentan una menor participación, con porcentajes inferiores al 10%, pero con tendencia al alza.

Europa posee un reconocimiento mundial en este rubro, se elaboran quesos tradicionales con precio relativamente elevado. Mientras tanto, los países con bajos costos de producción de leche dominan el mercado mundial de quesos comerciales de las grandes cadenas de pizzas y comida rápida (FAO, 2006).

#### 4.4 Definición y clasificación de los quesos

La Organización de Alimentos y Agricultura (FAO) define al queso como el producto fresco o madurado obtenido por coagulación de la leche u otros productos lácteos (nata, leche parcialmente desnatada, nata de suero o la mezcla de varios de ellos), con separación del suero.

De acuerdo con Eck (1990), la producción de queso se realiza en cuatro etapas fundamentales:

1. La coagulación: consiste en una serie de modificaciones fisicoquímicas de las micelas de caseína bajo la acción de enzimas proteolíticas o del ácido láctico, que determinan la formación de una red proteica llamado gel o coágulo.
2. El desuerado: separación de la cuajada, después de la aplicación de una fuerza mecánica, para su posterior colocación en moldes que puedan tener presión o no.
3. El salado: incorporación de sal en el interior de la cuajada, sobre la superficie o por inmersión en salmuera.
4. La maduración: conjunto de transformaciones bioquímicas de los constituyentes del queso bajo la acción de enzimas, la mayor parte de ellas de origen microbiano.

La variabilidad en los quesos se debe a que no solamente puede ser utilizada leche de una especie animal (vaca, oveja, cabra, etc.), sino que también puede realizarse diversas mezclas de leche procedentes de distintas especies. Así mismo, las diferentes tecnologías seguidas en las elaboraciones tales como: i) La

---

---

pasteurización, ii) el empleo de diversos microorganismos y iii) la modificación del tiempo, la temperatura o la intensidad de alguna operación del proceso. Estas variaciones van a tener como consecuencia la obtención de quesos con características diferentes (Eck, 1990).

Los principales parámetros para clasificar los quesos de acuerdo a lo anteriormente descrito son: i) el tipo de leche, ii) tipo de coagulación, iii) la textura, iv) la humedad, v) el extracto seco, vi) el contenido de materia grasa, vii) los microorganismo desarrollados, viii) la zona de elaboración y ix) la tecnología de fabricación (Eck, 1990).

La norma mexicana (NOM 121-22A1-1994) establece varios tipos de quesos mexicanos como se muestra en el cuadro 1. Así mismo, describe únicamente 8 tipos de quesos mexicanos. La escasez de datos y contradicciones de las variedades de quesos mexicanos posiblemente se puede deber a una falta de la caracterización de los mismos. Prueba de ello son los pocos trabajos realizados sobre la caracterización de los quesos mexicanos.

No existe ningún dato sobre la concesión de denominación de origen o alguna otra marca de calidad a alguno de los quesos mexicanos, esto posiblemente puede deberse una vez más a la falta de la tipificación de los mismos. Dentro de un mismo tipo de queso existe una amplia heterogeneidad tanto en sus propiedades físico-químicas, como la calidad microbiológica.

---

---

Cuadro 1. Clasificación oficial de los quesos mexicanos

---

<b>TIPO DE QUESO</b>	
<b>FRESCOS</b>	
Frescales	Panela, Canasto, Sierra, Ranchero, Fresco, Blanco, Enchilado, Adobado
De pasta cocida	Oaxaca, Asadero, Mozzarella, Del Morral, Adobera.
Acidificados	Cottage, Crema, Doble Crema, Petit Suisse, Nuefchatel
<b>Madurados</b>	
Madurados prensados de pasta dura	Añejo, Parmesano, Cotija, Reggianito.
Madurados prensados	Cheddar, Chester, Chihuahua, Manchego, Brick, Edam, Gouda, Gruyere, Emmental, Cheshire, Amsterdam, Butterkase, Coulomiers, Dambo, Erom, Friese, Fynbo, Havarti, Harzer-Kase, Herrgardsost, Huskallsost, Leidse, Maribo, Norvergia, Provolone, Port Salut, Romadur, Saint Paulin, Samsoe, Svecia, Tilsiter, Bola, Jack.
De maduración con mohos	Azul, Cabrales, Camembert, Roquefort, Danablu, Limburgo, Brie
<b>Procesados</b>	
Fundidos y fundidos para untar.	Amarillo

---

FUENTE: NOM 121-SSA1-1994

#### 4.5 Quesos de pasta hilada

Los quesos de pasta hilada se distinguen por incluir en su procesado un tratamiento de amasado de la cuajada, previamente acidificada, a una temperatura elevada. Mediante este tratamiento la cuajada adquiere una microestructura fibrosa orientando sus fibras proteicas en la dirección de la tensión ejercida. Este tipo de quesos ha sido motivo de interés debido a su estructura fibrosa, pero los trabajos

---

---

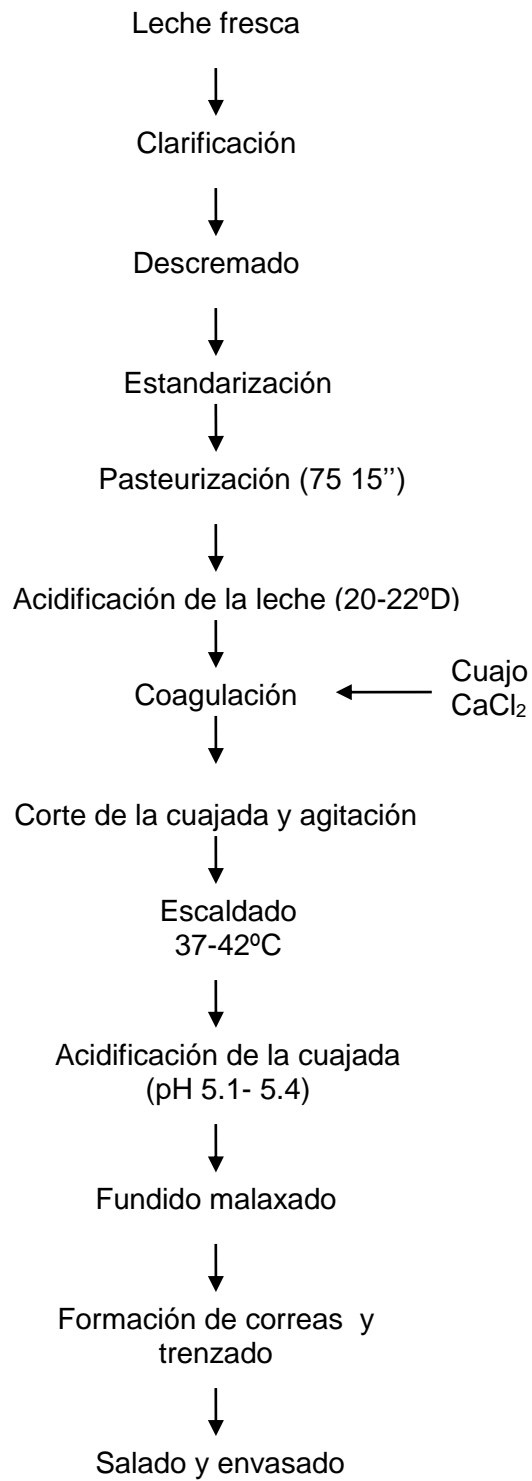
realizados hasta ahora no son suficientes para explicar el efecto que tienen tanto la composición así como los procesos de elaboración en la textura del queso.

Los quesos de pasta hilada parecen ser originarios de Italia, encontrándose entre ellos los quesos frescos como el Mozzarella o el Scamorze, el queso semiduro conocido como Caciocavallo y el queso duro Provolone, los dos últimos madurados. En Estados Unidos de América se ha popularizado el queso Mozzarella para pizzas o para fundir, que es diferente al Mozzarella original de leche de bufala (Kindsedt, 1993). El tipo de queso Mozzarella para pizzas tiene una humedad del 45 al 52% y un contenido en grasa sobre materia seca que suele estar entre el 30 y el 45%. Este tipo de queso es más parecido al Oaxaca que el queso Mozzarella tradicional.

#### 4.6 El queso Oaxaca

El queso Oaxaca es un queso mexicano clasificado en la familia de quesos de pasta hilada, en su elaboración la pasta se acidifica hasta alcanzar un pH de 5.3-5.2 y con este procedimiento se funde y se le da forma. En México el queso Oaxaca pertenece al grupo de los quesos frescos, (NOM 121-SSA1- 1994). Este queso se caracteriza por no tener corteza, además por tener un periodo de vida de anaquel corto, requiriendo condiciones de refrigeración. La presentación del queso se realiza en correas trenzadas, suele ser envasado en bolsa con o sin vacío. Su superficie es brillante, con un color tanto en superficie como al corte blanco nacarado-ostión o hueso. Al corte las correas se abren en sentido paralelo y dan aspecto fibroso. Es rebanable, sin ojos, salvo contaminación (es un queso realizado en la mayoría de las veces con leche no pasteurizada), y de pasta semi-blanda.

El proceso de elaboración del queso Oaxaca se muestra en la Figura 1. Como principal característica el malaxado se realiza en agua caliente donde el producto final adquiere sus características típicas como son: formación de fibras al ser desmenuzado y propiedades de fundido. Estas características y su sabor permiten que sea consumido fresco como botana o incluido en algún platillo, particularmente fundido.



---

---

**Figura 1.** Diagrama de flujo de elaboración del queso tipo Oaxaca.

Las características del queso tipo Oaxaca son las siguientes:

- 1) El queso fundido (gratinar).
- 2) Las correas bien definidas, con una dureza intermedia, además de que ésta al desmenuzarse forma hilos, siendo comparada con una pechuga de pollo (previamente hervida) cuando se deshebra.

Los defectos más comunes en este tipo de queso según Pérez, (1999), son:

- a) Queso cocido, se debe a un exceso de acidez
- b) Pasta seca y dura, falta de acidez (pH alto al cuajar o una cuajada con predominio enzimático) leche adulterada, leche desnaturalizada, formación de caseinatos
- c) Cuando presenta un sabor amargo, se debe a que la pasta está fuertemente contaminada con levaduras y hongos o con bacterias proteolíticas, o contiene alta actividad proteolítica inespecífica derivada del cuajo.
- d) Si presenta un sabor rancio, se debe a la oxidación de algunas grasas.
- e) Cuando la pasta presenta CO<sub>2</sub>, se debe a la contaminación por bacterias coliformes o por una contaminación de levaduras
- f) Los defectos de fundido se deben a tres cosas:
  1. Si funde demasiado, se debe a un exceso de acidez
  2. Si no funde, le falta acidez a la pasta
  3. Si funde grumoso, se debe a una leche adulterada o contaminada por residuos de antibióticos
- g) Presencia de hongos en la superficie del queso, es por una falta de higiene en el proceso o por un mal empaque
- h) Una pasta reblandecida, es por una alta pasteurización, alta temperatura del malaxado o malaxado prolongado
- i) Color oxidado, se da por la oxidación de la grasa por contacto por el aire, presencia de adulterantes en la leche y el color amarillento se da por colorantes naturales de la grasa en verano.

Por motivos sanitarios la NOM-121-SSA1-1994 no permite la elaboración de los quesos frescos a partir de leche cruda; sin embargo, actualmente una cantidad importante del queso fresco se fabrica con leche cruda, incluyendo el queso tipo Oaxaca, como se mostró en la Figura 1. Los tiempos de elaboración son variables, a veces el proceso se alarga y otras veces el queso resulta rápidamente acidificado, dependiendo principalmente del contenido microbiano de la leche utilizada lo que influye sobre las características del producto final. El Cuadro 2 se muestra la composición físico-química del queso tipo Oaxaca elaborado en el Valle de Tulancingo, Hgo. Como podemos observar la media para el pH fue de  $5.1 \pm 0.3$ . Mientras, la media de ( $a_w$ ) fue de  $0.991 \pm 0.005$ . El contenido de humedad  $51.5 \pm 3.8$ ; el contenido de cenizas fue de  $3.6 \pm 0.4$ . Con respecto al contenido de proteína se encontró una media de  $21.2 \pm 1.5$ . En cuanto al contenido de materia grasa tiene una media de  $21.0 \pm 3.1$ ; el contenido de materia grasa sobre materia seca tiene una media de  $43.8 \pm 6.0$  y por último el contenido de humedad/ materia seca descremada fue de  $1.9 \pm 0.3$ , según García (2006).

Cuadro 2. Parámetros físico-químicos del queso tipo Oaxaca elaborado en el Valle de Tulancingo Hidalgo.

Parámetros	Media
pH	$5.1 \pm 0.3$
$a_w$	$0.991 \pm 0.005$
Humedad (% p/p)	$51.5 \pm 3.8$
Cenizas (% p/p)	$3.6 \pm 0.4$
Proteínas (% p/p)	$21.2 \pm 1.5$
MG (% p/p)	$21.0 \pm 3.1$
NaCl (% p/p)	$1.8 \pm 0.5$
MG/MS	$43.8 \pm 6.0$
H/MSD	$1.9 \pm 0.3$

$a_w$ : Actividad de agua

pH: Potencial de hidrógeno.

MG: Materia grasa

MS: Materia seca

H: Humedad

MSD: Materia seca descremada

Fuente: García, 2006

---

---

#### 4.7 Propiedades funcionales relacionadas con el fundido de los quesos

Antes de hablar sobre las propiedades funcionales de los quesos, describiremos las propiedades funcionales de las proteínas, entre las cuales podemos encontrar, la solubilidad, dispersabilidad, hinchamiento, viscosidad, gelación, absorción de agua, emulsificación, adsorción de grasa, espumado, batido, elasticidad, extrusionabilidad, color, sabor, olor (Fennema, 2000). De acuerdo a Fox *et al.* (2003), las propiedades funcionales, pueden ser definidas como aquellas características físico-químicas, microestructurales, reológicas y organolépticas que afectan al comportamiento del queso en un sistema alimentario durante su preparación, procesamiento, cocinado, y consumo. Las proteínas son el principal componente en la mayoría de los quesos y por lo tanto, es el que mayor influencia tiene en las propiedades funcionales de los quesos cocinados y sin cocinar.

Las propiedades funcionales de los quesos son aquellas que les confieren aptitudes para su almacenamiento, conservación, presentación y preparación culinaria. Se ha descrito un número elevado de propiedades funcionales en los quesos que dependen del tipo de queso.

En los quesos frescos o poco madurados, generalmente consumidos poco después de su elaboración, con una pasta acidificada, pH igual o inferior a 5.4, como es el caso de la mayoría de los quesos mexicanos, entre ellos el Oaxaca, la aptitud para el fundido es una de las características más relevantes para la preparación culinaria de diversos platillos: quesadillas, pizzas, etc. El fundido viene definido a su vez por diversos parámetros físicos como: la derretibilidad o extensión durante el fundido, temperatura de fundido, tiempo de fundido, el estiramiento del queso fundido, la retención de grasa en el fundido o la viscosidad (Caro *et al.*, 1999).

La composición del queso es responsable de las propiedades funcionales (Fox *et al.*, 2000), además está bien documentado que las propiedades funcionales de los quesos se ven afectadas por las condiciones de elaboración y su maduración.

En la bibliografía se han encontrado numerosos estudios sobre diversos aspectos de las propiedades funcionales del queso Mozzarella (Yun *et al.*, 1995; Fife *et al.*, 1996; Guinee *et al.*, 2000; Joshi *et al.*, 2004, Sheehan y Guinee, 2004;



---

---

Kindstedt, 2004; Sheehan *et al.*, 2005; Zisu y Shah 2005). Sin embargo, los relacionados con el queso Oaxaca son escasos y, según el conocimiento, se rige prácticamente a los estudios realizados en este laboratorio (García, 2006, Carmona, 2006 y Monroy, 2007).

#### 4.7.1 Textura de los quesos de pasta hilada

Puede ser definida como el conjunto de atributos que tiene un alimento resultado de la combinación de las propiedades físicas y las percibidas por los órganos sensoriales. La textura es muy importante en la selección y preferencia de los alimentos y, además, siendo reconocida como uno de los principales parámetros de la calidad (Bourne, 1973).

Los atributos sensoriales de textura de los quesos son varios y se dividen en características mecánicas, geométricas y otras (Fox *et al.*, 2000). La textura es el resultado de la estructura del queso adquirida durante el proceso de elaboración y modificada durante la maduración.

El queso Mozzarella, como representante de los quesos de pasta hilada, en comparación con otros quesos, presenta una dureza relativamente baja, y alto valor de elasticidad, cohesividad, adhesividad, masticabilidad y gomosidad tal y como se puede observar en el artículo de (Tunick *et al.*, 1991). El queso Oaxaca, por su parte, comparado con otros quesos mexicanos, también presenta una baja dureza y elevada cohesividad, pero su elasticidad y adhesividad son bajas (García, 2006).

Por otra parte, en los quesos de pasta hilada, en general, y en el queso Oaxaca, en particular, se valora su facilidad de desmenuzamiento como atributo de textura. Esta propiedad se puede definir como la aptitud de un queso para ser desmenuzado. Esta operación se dificulta si el queso es muy blando y pastoso como si es duro y quebradizo. Relacionado con lo anterior, también es importante para el queso Oaxaca el mantenimiento de la fibrosidad característica, de la integridad de la correa y la firmeza del queso a lo largo de la conservación.

En el queso, la caseína es el componente estructural más importante ya que forma una red que atrapa la grasa y el agua. Las condiciones utilizadas en la elaboración del queso determinan el grado de agregación de la caseína y por lo tanto

---

---

la formación de estructuras más o menos rígidas y porosas. La grasa y el agua se ubican dentro de la matriz proteica de caseína y tienen un papel plastificante al disminuir la fricción entre cadenas de proteína (Prentice *et al.*, 1993).

En los quesos de pasta hilada la operación de estirado trae como consecuencia que el precipitado proteínico dominante, el fosfoparacaseinato monocálcico, adquiera una microestructura fibrosa. La proteína se alinea en fibras paralelas a la dirección del estirado con columnas intercaladas embebidas de suero y con grasa emulsificada entre las mismas (McMahon *et al.*, 1993).

La aptitud de la cuajada para el estirado e hilado en el proceso de malaxado está principalmente relacionada con la cantidad de calcio disponible (Lucey y Fox, 1993). Demasiado calcio asociado a la caseína producirá una cuajada dura que se desgarrará y se fractura durante el hilado, mientras que muy bajo calcio producirá una completa pérdida de estructura y elasticidad. La disponibilidad de Ca, a su vez, depende del pH. Al descender el pH, el fosfato de calcio coloidal, ligado a la caseína y a la para  $\kappa$ -caseína que forman la “malla” (o red de la cuajada), se vuelve soluble y migra hacia la fase acuosa (sérica), dejando la matriz estructural parcialmente desmineralizada (Lucey y Fox, 1993) y muy hidratada. Además la textura del queso de pasta hilada puede depender de factores como la temperatura de malaxado, a mayor temperatura, textura más firme (Tunick *et al.*, 1993) o la cantidad de sal, que también está directamente relacionada con la firmeza (Olson, 1982).

La proteólisis en el queso durante su maduración o conservación juega un papel fundamental en el desarrollo de la textura por mecanismos relacionados con el ablandamiento, debido a la ruptura molecular de la red proteica formada por las caseínas (Fox y McSweeney, 1996). Durante el almacenamiento del queso Mozzarella, aún a temperaturas de refrigeración (4°C), se ha observado una disminución de la dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad (Tunick *et al.*, 1991; Kindsedt, 1993), volviéndose más viscoso y fluido.

La proteólisis del queso es catalizada por enzimas del cuajo, de la leche (plasmina, proteínas de las células somáticas, catepsina-D), de los microorganismos presentes en el queso (Sousa *et al.*, 2001). Una mayor temperatura de conservación y una mayor humedad del queso favorece la velocidad de la proteólisis, que se

---

---

desarrollará más cuanto más tiempo se mantenga. También se ha observado que, dentro de los rangos típicos del pH del queso, a menor pH en el queso más intensa será la proteólisis (Pastorino *et al.*, 2003).

La proteólisis en el queso durante su maduración o conservación juega un papel fundamental en el desarrollo de la textura y del sabor del queso por mecanismos relacionados con el ablandamiento debido a la ruptura molecular de la red proteica formada por las caseínas, el incremento del pH por producir sustancias nitrogenadas básicas, y la producción de sustancias sápidas y aromáticas al liberarse péptidos (a veces amargos) y aminoácidos, de los que por distintas reacciones se pueden formar diferentes compuestos volátiles (Fox y McSweeney, 1996).

Dentro de los métodos instrumentales para determinar la textura de los quesos, uno de los más utilizados es, el perfil de textura en el cual se determinan propiedades primarias como la dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad y otras secundarias como la fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad. Según Hennelly (2006), los ensayos de compresión-relajación también son adecuados para la caracterización de quesos. En el queso Oaxaca este método no parece ser muy adecuado debido a la forma del queso, ya que se forman correas de pequeño diámetro que no permiten obtener cilindros o cubos suficientemente grandes. Además, la estructura fibrosa, hace que el cubo o cilindro no sean homogéneos en relación a la orientación que se considere.

#### 4.7.2 Color de los quesos de pasta hilada

La apariencia es el conjunto de atributos que se aprecian con la vista. Para poder evaluar el color se toman en cuenta propiedades visuales, externas e internas del queso. El color es la percepción de la luz de una cierta longitud de onda reflejada por un objeto. El color de un objeto tiene tres características: El tono, el cual está determinado por el valor exacto de la longitud de onda de la luz reflejada. Unos cuantos nanómetros de diferencia significan mezcla con otro color y, por lo tanto, un tono diferente. La intensidad depende de la concentración de las sustancias colorantes presentes en el objeto o alimento. El brillo es dependiente de la cantidad

---

---

de luz que es reflejada por el cuerpo, en comparación con la luz que incide sobre él; esta propiedad puede interferir con las otras propiedades sensoriales. Por ejemplo: cuando se realizan pruebas de sabor o textura, un color desagradable puede ser asociado por los catadores, inconscientemente, con un sabor o textura desagradables, alterando así sus respuestas (Anzaldúa, 1994).

El color de los quesos se ve afectado por el tipo de leche empleada, por la técnica de elaboración o familia a la que pertenece y por el tiempo de maduración. El agente colorante en la leche responsable del color de los quesos es el caroteno, un pigmento amarillo con ligeros tintes naranjas, que se encuentra contenido en la grasa de la leche. La grasa pasa en su mayor parte al queso, se produce una concentración de este color después de la coagulación. Este pigmento está presente en la leche de vaca, en la de oveja en menor proporción y ausente en la leche de cabra, de ahí que, a igual período de maduración los quesos de cabra tienen un color blanco o ausencia de pigmentación, los de vaca son muy pigmentados o más amarillos y los de oveja presentan un color intermedio. En la medida que un queso permanece más tiempo en la cámara de maduración va perdiendo humedad y por consiguiente va aumentando la intensidad del color y disminuyendo el brillo del queso.

El color de los quesos puede medirse subjetivamente por comparación con tablas de color y objetivamente usando el espectrofotocolorímetro. McMahan *et al.* (1993), realizaron la determinación objetiva del color, a través de espectrofotometría de reflectancia, esta técnica instrumental es uno de los métodos más utilizados debido a su estrecha correlación con la percepción visual del ojo humano. Esta metodología permite evaluar los cambios de color a lo largo del tiempo, sobre una misma muestra y sin necesidad de su destrucción; por lo que constituye una técnica rápida y fácil de realizar.

#### 4.7.3 Fundido de los quesos de pasta hilada

El fundido se puede definir como la capacidad de los trozos de queso desmenuzados o no para de fluir (expandirse) y fusionarse, formando una masa

---

---

derretida y estirable (Caro *et al.*, 1999). El fundido es una de las propiedades funcionales más importantes de los quesos que se van a utilizar como ingredientes para la preparación de alimentos cocinados o calentados.

Se han descrito varias formas de evaluar la extensión del queso durante el fundido. En una de ellas se coloca un cilindro de queso sobre una base plana y se somete a distintas temperaturas y tiempos, determinándose finalmente el porcentaje de extensión del queso fundido sobre el área inicial del cilindro de queso. El otro consiste en meter un cilindro de queso en un tubo, el cual se coloca horizontalmente en el horno y calentar a temperatura de 280°C durante 4min, determinando la distancia de avance del queso en el tubo (Richoux *et al.*, 2001).

El test de Schreiber es una prueba clásica de determinar la extensión del fundido (Richoux *et al.*, 2001) que consiste en calentar un cilindro estándar de queso dispuesto sobre una hoja de papel gruesa en un horno durante un tiempo y una temperatura determinada y posteriormente medir el incremento del diámetro del cilindro. Wang y Sun (2001) describió un método similar, así como Guinee *et al.* (2000). Todos estos métodos presentan variaciones entre sí en cuanto a cantidad de queso utilizado, tipo de base, tiempos y temperaturas de calentamiento empleados.

Otra prueba de fundido es la descrita por a McMahon *et al.* (1993), que consiste en poner un cubo de queso de 15g (previamente enfriado a 4°C durante 12 horas) en un tubo de ensayo (30x250mm). El tubo se coloca horizontalmente en un horno a 110°C durante 60min y, después de enfriar el tubo a temperatura ambiente, se mide la distancia que el queso recorrió en el tubo durante el fundido. Otro método para la determinación de fundido en tubo es descrito por Hennelly *et al.* (2005). En este método se utilizan cubos de 10g de queso (previamente enfriados a 4°C durante 12 horas) que se colocan en un tubo de vidrio (42x300mm). Los tubos posteriormente y se colocan horizontalmente en un horno a 180°C durante 6min. Inmediatamente se mide la distancia que el queso recorrió en el tubo durante el fundido.

El tiempo que tardan los trozos de queso en mostrar una consistencia semilíquida es otra propiedad funcional (Guinee *et al.*, 2000). Estos autores han desarrollado un método para su determinación que consiste en colocar un cilindro de queso desmenuzado sobre una base plana en el horno a una temperatura

---

---

determinada y medir el tiempo que transcurre hasta fundirse el queso, es decir, hasta que no se puedan diferenciar los trozos visibles.

El estirado del queso fundido se considera otra propiedad funcional relacionada con el fundido, es decir, la capacidad del queso de formar tiras fibrosas, lisas y resistentes, una vez calentado, que se alargan sin romperse al aplicar sobre el queso una tensión de estiramiento. Usualmente el estirado se cuantifica manualmente usando un tenedor y levantando el queso fundido, debiéndose encontrar al menos un estiramiento de 7.5cm para poder decir que el queso fundido (estira) (USDA, 1980).

Apostolopoulos (1993), describe otras dos formas de evaluar el estirado. En la primera, el queso desmenuzado se coloca sobre una base de pizza constituida de dos pociones concéntricas de 60 y 165mm de diámetro que a su vez se colocan sobre discos concéntricos de Perplex del mismo tamaño. El disco del centro tiene un eje perpendicular a su superficie. El conjunto se introduce en un microondas y después del calentamiento deseado se procede a levantar el disco central a una velocidad constante (1500mm/min) observándose la altura a que se puede levantar el disco sin que las tiras de queso se rompan. El segundo método de medida consiste en comprimir un pedazo cilíndrico de queso una vez fundido entre dos placas metálicas, una de ellas es calentada interiormente con agua caliente. Durante la compresión se traza la curva de la fuerza de deformación necesaria para que el trozo de queso alcance el espesor fijado. Por su parte, McMahon *et al.* (1993), relacionaron la viscosidad aparente del queso fundido a 60°C, en un viscosímetro de Brookfield con un vástago en forma de T, con el estirado y concluyeron que una alta resistencia al giro implica gran estirado.

La retención o separación de grasa durante el fundido, es otra propiedad funcional relacionada con el mismo y se refiere a la capacidad de mantener la emulsión durante el fundido, de forma que se evite la separación de grasa líquida en el queso, especialmente en la superficie del mismo.

La pérdida de grasa durante el fundido se puede determinar colocando un cilindro de queso sobre un papel (como en el test de Schreiber), procediendo a su fundido y midiendo la extensión del círculo de grasa que se forma en el papel (Richoux *et al.*, 2001). La retención de grasa también se puede determinar en el

---

---

queso mediante homogeneización en un medio acuoso, calentamiento y midiendo la cantidad de grasa liberada mediante la centrifugación (McMahon *et al.*, 1993). Este método consiste en medir la separación de grasa introduciendo 6g de queso molido en un tubo que fue sumergido en un baño de agua hirviendo durante 4min hasta fundir el queso. Una vez realizada esta operación, añaden 10mL de agua acidificada con HCl hasta alcanzar un pH de 2.2, y se mantienen a 60°C para permitir la separación de la grasa del queso. Por último se procede a centrifugar. El solvente acuoso no extrae la grasa emulsionada pero si la no emulsionada, expulsada durante el calentamiento del queso (Kindstedt y Fox, 1991).

Las propiedades funcionales del fundido de los quesos parecen implicar dos fases distintas pero interrelacionadas. La primera ocurre durante la elaboración, cuando se establece la estructura básica de la cuajada. Una segunda fase se da durante el almacenamiento, cuando la funcionalidad y la estructura de la cuajada sufren alteraciones. Ambas fases son afectadas de distintas formas por los pasos del proceso de elaboración. Debido a los fenómenos de proteolisis, ya comentados al hablar de la textura, un almacenamiento corto a bajas temperaturas ( $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ; una o dos pocas semanas) del queso Mozzarella parecen mejorar las propiedades funcionales del fundido del queso Mozzarella, pero si el tiempo de almacenamiento es demasiado largo (4 a 6 semanas), estas propiedades se empeoran, disminuyendo el estirado, la viscosidad y la separación de grasa durante el fundido (Lucey y Fox, 1993; Kindstedt, 1993).

#### 4.8 Efecto de la composición de la leche y la composición del queso sobre las propiedades funcionales de los quesos de pasta hilada

##### 4.8.1 Composición de la leche

La composición de la leche está se ve afectada por diversos factores relacionados a la producción de las vacas (raza, alimentación, estado sanitario del rebaño o técnica de ordeño), a las condiciones de almacenamiento de la leche

---

---

(tiempos y temperaturas, etc.) y finalmente a la estandarización a la que se vea sometida antes de pasar a la tina de cuajado.

La disminución de la relación grasa/caseína o grasa/sólidos no grasos en la estandarización de la leche es un proceso que se realiza con fines tecnológicos de estandarización del queso, para mejorar de las propiedades funcionales del mismo o con fines de índole dietético y nutritivo.

Por una parte, se ha comprobado que una reducción de la grasa de la leche para hacer quesos puede tener, si es moderada (unas décimas porcentuales), unas consecuencias positivas (mayor firmeza, mejor estirado durante el fundido, etc.); no obstante, si es elevada (una o más unidades porcentuales) puede implicar efectos adversos en las propiedades funcionales de los quesos (Fox *et al.*, 2000; Mistry, 2001; Banks, 2004). Además, un menor contenido en grasa normalmente implica un menor rendimiento quesero (Emmons, 1993). Por otra parte, en las últimas décadas ha aumentado la demanda del consumo de productos con menor contenido en grasa, entre ellos queso bajos en grasa (Mistry, 2001).

El descremado de la leche es una forma común de estandarizar la leche hacia una menor relación grasa/caseína o grasa/sólidos no grasos. También es común el uso de leche concentrada en proteína (MPC; siglas del inglés '*Milk protein concentrate*'). El MPC es un polvo (similar en aspecto a la leche en polvo) obtenido mediante secado por la técnica de pulverización de retenidos del proceso de ultrafiltración de la leche descremada. El MPC tiene un contenido en proteína entre el 40 y el 85%. En el MPC hay tanto caseínas como proteínas del suero en la misma proporción relativa que en la leche y las propiedades de coagulación del MPC una vez diluido son similares a las de la leche (Kameswaran y Smith, 1999).

En México el MPC se utiliza con bastante frecuencia como ingrediente de los productos lácteos, siendo una de sus principales aplicaciones la extensión del queso, como forma de aumentar el rendimiento quesero. También se puede llegar a utilizar para la elaboración expresa de quesos bajos en grasa.

Guinee *et al.* (2006), sugieren que la estandarización o fortificación de la leche destinada a la elaboración de quesos con MPC o con retenido líquido de la



---

---

ultrafiltración de la leche es una práctica que a la larga será necesaria para mantener la competitividad en el mercado de quesos comerciales.

#### 4.8.2 Efecto de la composición de la leche sobre la composición del queso

La composición de la leche además de influir sobre el rendimiento quesero influye sobre la composición del queso y, consecuentemente, sobre sus características (propiedades funcionales) según Fox *et al.* 2000). Como se ha dicho anteriormente, la leche normalmente se estandariza en contenido en grasa y en sólidos no grasos, obteniéndose distintas proporciones (grasa)/(caseína) o grasa/extracto seco, que en parte determinan el cociente grasa/extracto seco del queso. En el caso del queso Oaxaca el coeficiente de correlación lineal (R) de la razón grasa/extracto seco de la leche con respecto a la razón grasa/extracto seco del queso fue de 0.93 (Carmona, 2006).

El queso está compuesto básicamente por agua, proteínas, y casi exclusivamente  $\alpha$ ,  $\beta$ -CN y  $\gamma$ , minerales asociados a las proteínas principalmente fosfatos y citratos de calcio, grasa y agua, a la que están asociados los componentes sólidos del suero, lactosa, sales solubles, nitrógeno no proteico, proteínas del suero. A mayor cantidad de humedad en un queso, mayor cantidad de sólidos de suero, de forma proporcionalmente similar a la que se observa en el suero (Maubois y Mocquot, 1971).

La comprensión de los mecanismos de reparto de los distintos componentes de la leche en queso y suero, constituye la base teórica para poder interpretar en qué medida la composición de la leche afecta a la composición del queso (Van der Berg, 1993). En general, casi la totalidad de las caseínas presentes en la leche quedan retenidas en el queso en forma de matriz proteica. Su recuperación depende fundamentalmente de la pérdida de finos de caseína en el suero. Respecto a los iones más abundantes en la leche, una gran parte del calcio, fosfato y citrato (cantidad que está en proporción directa al pH de la cuajada), así como una pequeña fracción de sodio y potasio se ligan a la matriz caseínica durante la coagulación. La recuperación de la grasa de la leche en el queso está en torno al 90%, aunque si la

---

---

relación grasa/caseína de la leche llegara a desequilibrarse (valores mayores a 1.5), la recuperación disminuiría sensiblemente. Con la grasa se retienen los componentes liposolubles como ciertas vitaminas (A,D y E), aromas y pigmentos.

Finalmente, en la fase acuosa de la cuajada (retenida en la matriz proteica) se encuentran disueltos los sólidos del suero. La cantidad de estos sólidos en el queso depende de la cantidad de humedad del queso (Van der Berg, 1993). Cualitativa y cuantitativamente, la composición de la leche es decisiva sobre el queso. A su vez la composición de los quesos influye sobre sus propiedades funcionales.

Carmona, (2006) estudio el efecto del contenido en grasa de la leche (1.8 a 3.8%), sobre la composición del queso Oaxaca. Este autor, encontró que el porcentaje de grasa del queso fue del 15% para el mayor grado de descremado de la leche y de 25% para el queso elaborado con leche entera. Mientras tanto, los porcentajes en proteína, cenizas y sólidos no grasos aumentaron a medida que aumentó el nivel de descremado, subiendo de 1 a 5%, respectivamente. En dicho trabajo también se ha estudiado el efecto de la incorporación de MPC en la leche sobre la composición del queso (obteniéndose un porcentaje de sólidos no grasos en la leche entre el 9 y el 11%). La incorporación de MPC produjo una disminución de la cantidad grasa en el queso de 25 (leche con 9% de sólidos no grasos) a 20% (leche con el 11% de sólidos no grasos) y un ligero aumento de 2 unidades porcentuales en la proteína y en los sólidos no grasos.

#### 4.8.3 Efecto de la composición del queso sobre sus propiedades funcionales

En relación a la textura, un aumento en el contenido de humedad (manteniéndose constante la cantidad de grasa sobre extracto seco) provoca una textura más blanda (Tunick *et al.*, 1991). La cantidad de proteína aumenta la dureza y la de grasa la disminuye, en este sentido, Sundar y Upadhyay (1990) proponen la razón proteína/grasa como indicador de dureza. Tanto la dureza como la facilidad de desmenuzados están correlacionados negativamente con el contenido en humedad y grasa del queso.

---

---

Se ha comprobado que en el queso Mozzarella para pizza, un contenido en grasa superior al 38% produce un queso blando y difícil de desmenuzarse (Kindsedt, 1993). También se ha encontrado una relación inversa entre grasa, elasticidad y cohesividad (Tunick *et al.*, 1991). Por el contrario, una disminución del contenido de grasa resulta normalmente en cambios no deseados en la textura, en particular genera quesos duros y gomosos, que pueden empobrecer la calidad del producto (McMahon *et al.*, 1993).

El contenido en minerales también está relacionado con la dureza, a más cantidad de Ca, que normalmente viene dado por pH más elevados, mayor es la dureza (Kindsedt, 1993).

La cohesividad, además de depender de la grasa del queso, depende de factores como la humedad sobre materia seca desengrasada, minerales, proteínas y pH (Sundar y Upadhyay, 1992). Los quesos con alto contenido en grasa y alto en proteína fueron más cohesivos y un pH bajo en el malaxado también disminuyó la cohesividad.

La elasticidad está relacionada con el contenido en proteínas y su grado de desmineralización, más proteínas y más minerales hacen el queso más elástico (McMahon *et al.*, 1993).

El color del queso durante el fundido se ve afectado tanto por fenómenos físicos como la pérdida de humedad o fusión y exudación de grasa, como por fenómenos químicos como la reacción de Maillard. En este sentido, puede ocurrir que cuando el queso Mozzarella, o el queso para fundir en general, se hornea a alta temperatura la superficie del queso adquiere un color café. Este pardeamiento ocurre cuando la concentración de azúcares es elevada, en concreto cuando hay una acumulación de galactosa en el queso debido a la predominancia de bacterias ácido lácticas que no utilicen dicho azúcar. Existen otros factores de composición con efecto sobre el pardeamiento como la sal, que en concentraciones superiores al 4% en salmuera favorecen el pardeamiento (McMahon *et al.*, 1993).

El pardeado en el queso también se ve influido por el almacenamiento. Por una parte disminuye la coloración café, pues en su transcurso disminuye la cantidad de azúcares simples. Sin embargo, también la coloración puede verse aumentada ya

---

---

que durante la maduración aumentan los otros sustratos de la reacción de Maillard (moléculas con grupos amino libres). Todo depende de qué factor sea el predominante. En cualquier caso, una baja cantidad en azúcares libres y/o en aminoácidos, péptidos u otras moléculas con grupos amino libre, hacen que el queso no presente pardeamiento.

Un aumento en el contenido de humedad (manteniéndose constante la el contenido en grasa sobre extracto seco) provoca una mayor derretibilidad (Tunick *et al.*, 1991). Por otra parte, a medida que el contenido graso de los quesos se incrementa aumenta su derretibilidad (Tunick *et al.*, 1991) y hay una disminución en la retención de grasa durante el fundido, que, en el queso Mozzarella es muy exagerada cuando el porcentaje grasa sobre extracto seco excede el 37% (Kindstedt, 1993). Igualmente, la aparición de grasa separada durante el fundido también está relacionada con la cantidad de grasa sobre materia seca del queso.

A medida que el contenido en Ca y P descienden en la cuajada (debido generalmente al descenso del pH durante la acidificación de la misma) el queso funde más intensamente (Kindsedt, 1993). La propiedad de formar hebra o de estirado del queso fundido está relacionado con la integridad de la caseína, la concentración de Ca y P y, consecuentemente, el pH de la cuajada (Kindsedt, 1993). También el estirado del queso Mozzarella para pizzas se ve afectado negativamente por el tiempo de maduración. Tanto, una maduración insuficiente y una excesiva disminuyen esta propiedad funcional. El pH alto de la cuajada, además de empeorar la extensión del queso y el estirado, provoca una mayor pérdida de grasa.

La sal influye negativamente sobre el fundido, en la revisión del autor mencionado en el párrafo anterior se indica que un queso Mozzarella con 1.8% de sal funde peor que otro con el 1.0%. Sin embargo, una mayor cantidad de sal parece prevenir el defecto de separación de grasa en el queso, pues aumenta la capacidad emulsificante de las caseínas por mecanismos relacionados con el intercambio iónico (Kindsedt, 1993).

---

---

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Localización del experimento

En un primer plano consistente en los análisis fisicoquímicos, se realizó en el laboratorio de análisis físico-químico del ICAP. En segundo plano consistió en la evaluación sensorial, desarrollada en el laboratorio de análisis sensorial del Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICAP-UAEH) y en los laboratorios del Departamento de Higiene y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de León (España), se realizó la determinación de contenido en azúcares, contenido en ácidos orgánicos y contenido de minerales.

### 5.2 Manejo de las muestras

El queso tipo Oaxaca utilizado para el desarrollo experimental de este experimento fue elaborado en el taller de lácteos del Instituto de Ciencias Agropecuarias, siendo las mismas muestras que las utilizadas por Carmona (2006). Una muestra representativa de cada uno de estos quesos fue congelada al día siguiente de su elaboración (al día siguiente del salado). Las muestras se mantuvieron congeladas a  $-18^{\circ}\text{C}$  durante un máximo de 10 meses antes de realizar las pruebas del presente trabajo. La descongelación de las muestras antes de proceder a los análisis se realizó a  $4^{\circ}\text{C}$  durante 24h.

Se recoge en la tesis de Carmona (2006), los contenidos en grasa y en sólidos no grasos de la leche fueron estandarizado mediante el descremado o la adición de concentrado proteico de leche, obteniéndose tres niveles distintos de grasa con 9% de sólidos no grasos (Cuadro 3) y tres de sólidos con un 3.5% de materia grasa (Cuadro 4). El proceso de elaboración de queso se repitió 3 veces para cada nivel.

---

---

Cuadro 3. Niveles de materias grasas utilizados

---

**Niveles materia grasa variables en leche con un 9% de sólidos no grasos**

---

Bajo 1.8% (BG)  
Medio 2.8% (MG)  
Alto 3.8% (AG)

---

Cuadro 4. Niveles de sólidos no grasos utilizados

---

**Niveles de sólidos no grasos variables en leche con un 3.5% de materia grasa**

---

Bajo 9% (BS)  
Medio 10% (MS)  
Alto 11% (AS)

---

De acuerdo al Cuadro 5 muestra el valor medio de pH 5.36-5.48 en cuanto al contenido de proteína estuvo próximo a 21.8 a 26.6. Los sólidos totales y las relaciones grasa/extracto seco, proteína/ extracto seco de la leche se vieron afectados por el nivel de descremado de la misma de forma significativa ( $p < 0.05$ ). El efecto del contenido en grasa de la leche sobre la cantidad de grasa/ extracto seco del queso también ha sido observado por Guinne, *et al.* (2000), quienes también reportaron diferencias en los porcentajes de humedad, grasa, proteína y cenizas de los quesos elaborados con leche de distintos niveles de grasa de forma paralela a las encontradas por Carmona, (2006).

Cuadro 5. Valor de pH y composición media del queso tipo Oaxaca elaborado con leche estandarizada para conseguir un 9.0% de sólidos no grasos y distintos niveles de grasa (mediante descremado).

Nivel de grasa de la leche (%)	3.5 (n=3)	2.8 (n=3)	1.8 (n=3)
<b>QUESO</b>			
pH	5.36±0.03 <sup>a</sup>	5.48±0.10 <sup>a</sup>	5.39±0.11 <sup>a</sup>
Grasa (%)	24.8±0.9 <sup>a</sup>	23.0±1.1 <sup>a</sup>	14.8±1.2 <sup>b</sup>
Proteína (%)	21.8±1.0 <sup>a</sup>	23.5±2.3 <sup>a</sup>	26.6±3.8 <sup>a</sup>
Cenizas (%)	3.07±0.3 <sup>a</sup>	3.7±0.2 <sup>a</sup>	3.9±0.7 <sup>a</sup>
Sólidos (%)	50.3±2.3 <sup>a</sup>	51.7±3.5 <sup>a</sup>	46.0±5.5 <sup>a</sup>
Sólidos no grasos (%)	25.5±1.5 <sup>a</sup>	28.7±2.8 <sup>a</sup>	31.2±4.6 <sup>a</sup>
Grasa/extracto seco (%)	49.3±0.9 <sup>a</sup>	44.6±2.1 <sup>b</sup>	32.4±2.2 <sup>c</sup>
Proteína/extracto seco (%)	43.3±0.4 <sup>c</sup>	45.5±3.5 <sup>b</sup>	57.8±3.3 <sup>a</sup>
Humedad/sólidos no grasos	1.96±0.20 <sup>a</sup>	1.70±0.28 <sup>a</sup>	1.77±0.45 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> Para cada variable, las medias con ninguna letra en común mostraron diferencias significativas por el test de Tukey (p<0.05)  
Fuente: Carmona (2006).

En el Cuadro 6. Se puede observar el valor de pH de la leche estandarizada, con un valor medio de 5.20-6.36. El contenido de proteína fue lógicamente más alto cuanto mayor nivel de sólidos no grasos contenía la leche. Los sólidos totales y las relaciones grasa/extracto seco, proteína/extracto se muestran diferencias significativas (p<0.05) de acuerdo al nivel de los sólidos no grasos en la leche. A mayor contenido en sólidos no grasos, menos contenido de grasa y más proteína sobre extracto seco.

Cuadro 6. Valor de pH y composición media del queso tipo Oaxaca elaborado con leche estandarizada para conseguir un 3.5% de grasa y distintos niveles de sólidos no grasos (mediante la adición de concentrado proteico de leche).

Nivel de Sólidos	11.0 (n=3)	10.0 (n=3)	9.0 (n=3)
pH	5.20±0.11 <sup>a</sup>	5.27±0.14 <sup>a</sup>	5.36±0.03 <sup>a</sup>
Grasa (%)	19.6±0.4 <sup>c</sup>	22.2±1.0 <sup>b</sup>	24.8±0.8 <sup>a</sup>
Proteína (%)	23.5±1.4 <sup>a</sup>	22.2±1.3 <sup>a</sup>	21.8±1.0 <sup>a</sup>
Cenizas (%)	3.1±0.2 <sup>a</sup>	3.2±0.3 <sup>a</sup>	3.1±0.2 <sup>a</sup>
Sólidos (%)	47.9±2.6 <sup>a</sup>	48.4±2.6 <sup>a</sup>	50.3±2.2 <sup>a</sup>
Sólidos no grasos (%)	28.3±2.4 <sup>a</sup>	26.2±1.7 <sup>a</sup>	25.5±1.4 <sup>a</sup>
Grasa/extracto seco (%)	40.9±1.8 <sup>c</sup>	45.8±0.6 <sup>b</sup>	49.3±0.9 <sup>a</sup>
Proteína/extracto seco (%)	49.1±0.3 <sup>a</sup>	45.9±1.1 <sup>b</sup>	43.3±0.4 <sup>c</sup>
Humedad/sólidos no grasos	1.86±0.25 <sup>a</sup>	1.97±0.22 <sup>a</sup>	1.96±0.20 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> Para cada variable, las medias con ninguna letra en común mostraron diferencias significativas por el test de Tukey (p<0.05)  
Fuente: Carmona, (2006)

---

## 5.3 METODOLOGÍA ANALÍTICA

### 5.3.1 Contenido de especies químicas de interés tecnológico en el queso Oaxaca elaborado con leche con distintos porcentajes de grasa y sólidos no grasos

#### **Contenido en azúcares (lactosa, galactosa y glucosa)**

A cada muestra de queso se le determino, lactosa, galactosa y glucosa. Para la extracción de los azúcares se tomaron 10g de muestra de queso y se adicionaron 50mL de solución 4.5mM de ácido sulfúrico y homogenizando enérgicamente mediante un homogeneizador Ultraturrax. El homogenizado se mantuvo en reposo durante 1h a temperatura de refrigeración y se filtró a través de papel filtro (Whatman #3). La solución obtenida se pasó a través de una membrana de 0.45 $\mu$ m de tamaño de poro y 30 $\mu$ L del filtrado se utilizaron para el análisis cromatográfico por HPLC que se llevó a cabo de acuerdo al método de Van Riel y Olieman (1986) con un cromatógrafo Alliance Waters 2690 equipado con un detector de refractometría Waters 410 y una columna de separación de intercambio iónico BioRad Aminex HPX-87H de dimensiones 300mm de longitud y 7.8mm de diámetro, protegida con una precolumna BioRad MicroGuard H+ de 30mm x 4.6mm. La fase móvil fue ácido sulfúrico 5mM, y se trabajó en régimen isocrático a flujo de 0.6 mL/min, con una temperatura de la columna de 60°C. Para la identificación y cuantificación de los azúcares se inyectaron soluciones de lactosa, galactosa y glucosa patrones (Fluka) a 3 concentraciones crecientes y por duplicado realizando una recta de calibración con las áreas obtenidas y las concentraciones empleadas.



---

---

## Contenido en ácidos orgánicos (ácido láctico y acético)

Para la extracción de los ácidos orgánicos se siguió el mismo procedimiento que el descrito en el apartado anterior. Tanto la extracción como el análisis cromatográfico se realizaron de acuerdo a la metodología descrita por Bruna *et al.* (2003). previamente a la inyección en el cromatógrafo, la solución obtenida fue filtrada a través de un filtro de 0,45 $\mu$ m de diámetro de poro y fueron inyectados 30 $\mu$ L para la identificación de los ácidos orgánicos. Los análisis se hicieron por duplicado. Se utilizó el mismo cromatógrafo y las mismas precolumna y columna que las descritas en el apartado anterior. Como detector se empleó un detector de Arreglo de Diodos 996. La fase móvil fue ácido sulfúrico 3mM. La velocidad de flujo de 0.5mL/min los primeros 30min, subiéndose hasta 0.8mL/min durante 10min siguientes hasta completar los 40min, posteriormente el flujo se redujo hasta 0.5mL/min durante los últimos 5min. La temperatura de la columna fue de 65°C y la longitud de onda de detección de 210nm.

Para la identificación de los ácidos orgánicos se inyectaron estándares analíticos de ácido láctico y acético y los tiempos de retención obtenidos para los estándares fueron comparados con los tiempos de retención obtenidos por los picos de las muestras. Así mismo, se comparó el espectro obtenido para cada pico patrón frente al respectivo espectro del pico problema para confirmar la pureza de los compuestos.

Finalmente, para la cuantificación de los ácidos orgánicos se realizó una curva de calibración para cada ácido identificado con cantidades crecientes del mismo (0.05, 0.1, 0.5g/L), ajustando los valores con una regresión lineal e interpolando el valor del área obtenida para cada ácido identificado en la curva patrón respectivo para obtener la concentración final de dicho ácido. Los valores de  $R^2$  para los ácidos orgánicos cuantificados fueron de 0.996 y 0.998 ácido láctico y acético respectivamente.

---

---

## Contenido en minerales (Na, Ca y P)

La determinación del contenido en Na se realizó simultáneamente y de la misma manera que la determinación de los azúcares. El contenido en Ca y P se realizó a partir de la muestra digerida con ácido nítrico concentrado – digestión húmeda –, siguiendo básicamente el método 986.09 propuesto por la AOAC (AOAC, 1999), incluyendo algunas modificaciones. La cuantificación de los elementos minerales se llevó a cabo mediante espectrofotometría de emisión atómica acoplada inductivamente (ICP-AES).

A partir de 1g de muestra pesado ( $\pm 0,1$ mg) y 10mL de ácido nítrico concentrado se procedió a realizar una digestión húmeda durante 18h a temperatura ambiente y otras 4h en baño de agua a 90°C. Posteriormente, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se realizaron diluciones de las muestras digeridas para analizar el contenido de minerales. Se tomó 1mL de la muestra digerida y se agregó a tubos de plástico, a los que se añadieron 9mL de agua Mili-Q. Los tubos se agitaron y se llevaron al Laboratorio de Técnicas Instrumentales de la Universidad de León para su análisis espectrofotométrico (espectrofotometría de emisión atómica de plasma acoplado).

Parámetros instrumentales del espectrofotómetro “Perkin Elmer” modelo “1000 Emission Spectrometry”.

- Potencia de radiofrecuencia (RF): 1400 W.
- Flujo de nebulización: 0.75mL/min.
- Flujo de plasma: 15mL/min.
- Flujo auxiliar: 0.2mL/min.
- Bomba peristáltica: 1mL/min.

La longitud de onda de emisión seleccionada para cada elemento mineral fue de 589nm para el Na, 445nm para el Ca y 393.4nm para el P. El espectrofotómetro, después de hacer el autocero, fue calibrado con una solución multielementos de 100ppm en ácido nítrico/agua (1/9) (v/v). Los efectos de viscosidad fueron corregidos utilizando Sc como patrón interno que fue introducido en el plasma por medio de un canal adicional de la bomba peristáltica. La calibración se realizó por duplicado.

---

---

### 5.3.2 Propiedades funcionales previas al fundido del queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos porcentajes de grasa y sólidos no grasos

#### 5.3.2.1 Capacidad de retención de suero y grasa

El suero liberado del queso fue medido por duplicado siguiendo las indicaciones de Guo y Kindstedt (1995) con algunas modificaciones. Un total de 30g ( $\pm$  0.1g) de queso homogeneizado con picadora domestica (Marca Moulinex) fue colocado en un tubo de centrífuga de 50mL. Posteriormente el tubo de centrífuga se sometió a 12.500g por 75 minutos a 25°C en una centrífuga modelo (5804R) y marca (Eppendorf). El tubo de centrífuga fue llevado a un cuarto frío durante 3h aproximadamente para solidificar la fase grasa de manera que se permita una fácil separación de la fase acuosa (líquida) de la fase grasa (sólida). El suero liberado se extrajo con pipeta pasteur y la cantidad se expresó como el porcentaje en peso de fase acuosa liberada en relación al peso del queso; la grasa liberada como el porcentaje en peso de la grasa liberada sobre el peso del queso.

### 5.3.3 Propiedades funcionales de fundido en el queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos porcentajes de grasa y sólidos no grasos

Las muestras de queso descongeladas se homogeneizaron con una picadora doméstica (Marca Moulinex), se almacenaron durante 3 días a temperatura de refrigeración (4°C) para su posterior análisis.

Las pruebas realizadas para determinar las propiedades funcionales de fundido de los quesos se describen a continuación.

---

---

### 5.3.3.1 Test de Schreiber, determinación de la extensión del queso y liberación de grasa durante el fundido a 225°C durante 3min

El análisis para la determinación de la extensión del queso y liberación de grasa durante el fundido a 225°C durante 3min descrito por Richoux et al. (2001) consiste en formar un cilindro compacto con la muestra homogeneizada de 4.5cm de diámetro y 6mm de grosor. La muestra se colocó sobre una hoja de papel blanco (con un peso de 75g/m<sup>2</sup> calidad para impresora láser) y se marcó sobre el papel el contorno formado por la muestra de queso. Después se calentó la muestra de queso, sobre el papel, en un horno de convección (Marca Whirpool) a 225°C durante 3min. Pasado este tiempo, la muestra se sacó del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 1min y se marco el contorno del frente del queso fundido y el de la grasa liberada. Finalmente se calcularon las áreas del queso antes del fundido, después del fundido y la de la mancha de grasa sobre el papel después del fundido.

El aumento de superficie durante el fundido se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de expansión del queso en el fundido} = 100 \cdot (A_2 - A_1) / A_1$$

Donde:

A<sub>1</sub> = Área comprendida en el contorno inicial del queso.

A<sub>2</sub> = Área comprendida en el contorno final del queso.

Para la determinación de materia grasa liberada se llevo a cabo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de expansión de la grasa liberada en el fundido} = 100 \cdot (A_3 - A_2) / A_2$$

Donde:

A<sub>2</sub> = Área comprendida en el contorno final del queso.

A<sub>3</sub> = Área comprendida en el contorno de la grasa tras el fundido.

---

---

### 5.3.3.2 Test de Schreiber modificado, determinación del tiempo y porcentaje de extensión durante el fundido a 280°C.

Mediante esta prueba se determinó el porcentaje de expansión durante el fundido así como el tiempo de fundido, siguiendo las recomendaciones de Guinee *et al.* (2000), con algunas modificaciones.

El porcentaje de extensión durante el fundido del queso se realizó tomando 11.5g de queso molido y se colocó en papel aluminio en el cual se marcó un círculo con un diámetro de 4.5cm y un ancho de 0.6cm. Posteriormente, el trozo del papel aluminio y el queso se colocaron en un horno previamente calentado a una temperatura de 280°C durante 4min. Pasado este tiempo, se procedió a sacar la muestra del horno y se marcó el diámetro final. Para calcular el porcentaje de fundido, se cortó el papel aluminio hasta donde se había marcado el diámetro final y se pesó obteniéndose así el P<sub>2</sub>. Se cortó el círculo que marcaba el diámetro inicial y se pesó obteniendo así el P<sub>1</sub>. Por último, se calculó el porcentaje de extensión durante el fundido mediante la siguiente operación:

$$P_2 - P_1 = A \times 100$$

La determinación del tiempo de fundido se llevó a cabo siguiendo el siguiente procedimiento. Se colocaron aproximadamente 11.5g de queso molido sobre un trozo de papel aluminio (con un diámetro de 4.5cm y altura de 0.6cm). El trozo de aluminio y el queso se metieron en el horno (previamente calentado) a una temperatura de 280°C. Seguidamente se cronometró el tiempo de fundido, el momento en el que el queso formó una masa homogénea, es decir que a simple vista no se podían percibir los gránulos de queso.

---

---

#### 5.3.3.3 Prueba de fundido del queso en tubo, determinación de la extensión del queso fundido en un tubo a 180°C durante 6min

Esta prueba se realizó siguiendo los pasos descritos por Hennelly *et al.* (2005) se formaron cubos de queso 24 x 20mm previamente homogenizado (10g) se colocaron y se envolvieron en papel aluminio, y se dejaron en refrigeración 12 horas (4°C). Posterior a ese tiempo se quitó el papel aluminio. Los cilindros de queso se colocaron los cilindros de queso en la boca del tubo de ensayo de vidrio de 24mm de diámetro y 300mm de longitud, a los cuales se les hizo previamente un orificio en el fondo para permitir la salida del vapor producido durante el calentamiento. Una vez introducidas las muestras de queso en los tubos, los tubos se taparon con tapones de goma y se colocaron horizontalmente en el horno de convección durante 6min a 180°C. Inmediatamente después de retirar los tubos del horno se midió la distancia recorrida por el queso.

#### 5.3.3.4 Test de Gerber modificado, determinación de la capacidad de retención de grasa del queso fundido

Para determinar la capacidad de retención de grasa del queso se utilizó el método descrito por Kindstedt y Fox (1991) basado en el uso de los butirómetros Gerber para queso (Van Gulik). Se colocaron alícuotas de 6g de queso homogenizado en los correspondientes tubos de 25mL de capacidad. Los tubos se introdujeron en baño de agua hirviendo durante 4min. Posteriormente, a los tubos con la muestra de queso fundido se agregaron 10mL de agua acidificada con HCl hasta alcanzar un pH de 2.2, y a 60°C de temperatura. Los tubos se centrifugaron durante 5min en la centrífuga Gerber y después se agregaron 10mL de una mezcla metanol y agua destilada 1:1 (v/v) a temperatura ambiente. Los tubos se colocaron en un baño de agua a 60°C durante 1min, posteriormente se centrifugaron durante 2min y se introdujeron de nuevo en baño de agua 1min a 60°C. Finalmente, se transfirió el sobrenadante de los tubos (capa de grasa láctea y suero) a los correspondientes butirómetros Gerber con la ayuda de una pipeta Pasteur. Se agregó a los butirómetros mezcla agua-metanol cuando se consideró necesario con el fin de ajustar el contenido de los butirómetros al nivel de la escala. Los

---

---

butirómetros se taparon, se colocaron en baño de agua a 60°C durante 1min, se centrifugaron 1200rpm centrifuga Gerber durante 2min y se volvieron a colocar en el baño de agua a 60°C durante 2min. El resultado de grasa liberada se obtuvo mediante la lectura del porcentaje de la fase grasa en la escala del butirómetro, este resultado se dividió entre dos para dar obtener un valor de grasa liberada sobre porcentaje de queso. Las determinaciones se hicieron por duplicado.

#### 5.3.3.5 Análisis del comportamiento del queso fundido frente a una fuerza extrusión inversa, determinación de diversas propiedades de textura del queso tipo Oaxaca fundido

Las muestras descongeladas se homogeneizaron con la ayuda de una picadora (Marca Moulinex). Posteriormente, se pesaron 60g de queso y se colocaron en un vaso de vidrio de altura 8cm x 4.5cm de diámetro. Las muestras de queso fueron fundidas en un horno de microondas (Marca Daewoo, modelo KOR-630) durante 38 s hasta alcanzar una temperatura de 81°C. Finalmente, las muestras fueron llevadas a un baño de agua a 70°C durante 5min antes de realizar el análisis de textura.

Para la determinación de las características de textura en el queso fundido se realizó un ensayo de extrusión inversa por compresión con un Texturómetro Universal (Stable Micro Sistemas, UK) equipado con una celda de carga de 5kg, se utilizó una sonda para extrusión inversa (Back Extrusión cell, A/BE 35), la cual cuenta con un dispositivo de perspex con dimensiones de 40mm de altura y 7mm de diámetro. Las condiciones de análisis fueron; una velocidad de descenso de 1mm/s por una distancia de 20mm, una vez llegado a ese punto la sonda se detuvo y se desplazó a la posición inicial, bajo las mismas condiciones. El análisis se realizó por duplicado. Los parámetros obtenidos fueron recogidos a partir del perfil observado en la Figura 2 y determinados de acuerdo a las siguientes fórmulas.

---

---

#### 5.3.3.6 Determinación de la cinética de fundido del queso tipo Oaxaca: cambios en el área y el color del queso al ser calentado a diferentes temperaturas (entre 120 – 200°C) durante periodos de tiempo entre 0 y 20min.

La determinación de la cinética de fundido se llevó a cabo siguiendo las indicaciones de Wang y Sun (2001), con algunas modificaciones, tal y como se describe a continuación. Se colocaron 15g de queso previamente homogeneizado con la ayuda picadora doméstica (Marca Moulimex). A partir del homogeneizado se formó un cilindro de queso con un diámetro de 4.5cm y una altura de 0.6cm sobre una tortilla de harina. Las muestras de queso se introdujeron en un horno de convección (Marca Whirpool), previamente calentado a las distintas temperaturas de trabajo (120, 140, 160, 180, y 200°C) y distintos tiempos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20min). Los ensayos se realizaron por duplicado.

##### ***Determinación de los cambios en el área del queso***

Al cabo de los 20min y a las temperaturas indicadas (120-200°C) se tomaron fotografías de los quesos y se determinó el área del queso a cada temperatura y tiempo de muestreo.

##### ***Determinación de los cambios en el color del queso***

Antes de comenzar la prueba y después de los 20min de calentamiento de los quesos se dejaron enfriar aproximadamente 15min, se procedió a medir el color, usando un espectrofotómetro de reflectancia (Minolta CM-508d). Los parámetros que se midieron fueron L\*, a\*, b\*, antes de la medición de estos parámetros, el instrumento fue calibrado usando una superficie de color blanco estándar. Las mediciones se realizaron por triplicado en tres diferentes posiciones con un ángulo del observador de 10° y el iluminante de D65 sobre la superficie del queso colocado sobre una tortilla de harina.

Parámetros de color medidos:

L\* = Luminosidad

a\* = índice de rojos-verdes

b\* = índice de amarillos- azules.



---

---

### 5.3.3.7 Análisis sensorial

El análisis sensorial se llevó a cabo en el laboratorio de análisis sensorial del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, con un grupo de 8 jueces integrado por 3 estudiantes y 5 profesores entre 20-40 años de edad (3 hombres y 5 mujeres), todos ellos estudiantes o profesores del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Los parámetros sensoriales fueron evaluados por medio de escalas de tipo hedónico, las cualidades en el queso tipo Oaxaca fundido fueron: el porcentaje de grasa liberada, extensión del queso, textura visual (presencia de grumos) y apariencia en general del queso. Las muestras evaluadas fueron previamente homogeneizadas, se presentaron en platos de plástico codificados con una clave de 3 dígitos, los cuales contenían una muestra de queso de 30g sobre una tortilla de maíz extendida. Las muestras fueron calentadas en un horno de microondas marca (LG) y modelo (MS-214YDL) con una potencia de 1 650 W durante 30s.

Los análisis se realizaron en el siguiente orden: primero se evaluó la cantidad de grasa liberada por el queso. El procedimiento para evaluar la cantidad de grasa liberadas por el queso consistió en observar detenidamente la muestra y valorar o estimar la extensión de la superficie cubierta por la grasa liberada y expresarla en porcentaje sobre la superficie total.

En segundo lugar, se valoró la capacidad de extensión del queso fundido (Anexo II ). Para ello se tomó un tenedor de metal de aproximadamente 16.3cm de largo con 4 puntas, cada una de ellas con dimensiones de 4mm de ancho y 3cm de largo, previamente marcado en las puntas a una distancia de los extremos de 3mm con un ángulo aproximado de 45°. Las puntas del tenedor se introdujeron en el queso hasta la marca establecida, después se jaló el tenedor hacia arriba y se estimó la altura de la hebra con ayuda de la regla fija dispuesta sobre la pared, perpendicularmente a la mesa de evaluación, y se anotó el valor observado.

En tercer lugar se procedió a observar la hebra formada durante el estiramiento descrito anteriormente y se indicó la presencia de grumos de la siguiente manera, marcando la opción propuesta: nada, pocos o muchos.

---

---

Finalmente, se realizó la última prueba la cual consistió en hacer una quesadilla con 30g de queso que se colocó encima de una tortilla de maíz con un perímetro de aproximadamente 12.5cm durante 30s., romper la quesadilla a la mitad con las manos doblando y tirando de los extremos y observar el queso, evaluando su aceptabilidad por medio de una escala hedónica con una escala de nueve puntos, valorando del 1 al 9 el grado de satisfacción que como consumidor potencial le produce el queso en conjunto (teniendo en cuenta el color, el brillo, las dimensiones de la hebra, la presencia de grumos, la exudación de grasa, etc.).

#### 5.3.3.8 Análisis Estadístico

Se calculó la media y la desviación estándar de los parámetros estudiados en el análisis sensorial de cada uno de los tratamientos. También, se llevó a cabo un análisis de varianza de una vía, empleando la prueba de Tukey para la obtención de diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos. La variable de categorización del análisis de varianza fue el contenido en materia grasa de la leche o el contenido en sólidos no grasos. En el caso de la media de la evaluación del color se empleó un análisis de varianza de dos vías, siendo las variables de categorización el contenido en grasa o sólidos no grasos de la leche, por una parte, y la otra de fundido. Igualmente se realizó análisis de regresión lineal y componentes principales para observar la existencia de relaciones entre las variables de extensión, extrusión, liberación de grasa y los parámetros de composición del queso. Para estos análisis se empleó el programa 'STATISTICA for Windows', versión 6.0 (StatSoft, Tulsa, EE. UU).

---

---

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Diversos compuestos del queso con interés tecnológico

En el Cuadro 7 se muestran las principales especies químicas o componentes de interés tecnológico del Queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de materia grasa. Los rangos de lactosa, galactosa, ácido láctico y sal fueron, similares para todos los niveles de materia grasa. Únicamente se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el contenido de fósforo y calcio entre los distintos niveles de materia grasa, sobre el peso fresco, peso seco y sólidos no grasos; siendo menor la cantidad de los minerales antes mencionados para el queso que contenía la mayor cantidad de materia grasa. Estas diferencias, en el caso de peso fresco y seco, se pueden explicar por el hecho de que el Ca y P se encuentran principalmente en la fase no grasa (suero y matriz proteica), no en la grasa. La menor concentración de Ca y P sobre sólidos no grasos del queso control (leche con 3.5% de materia grasa) respecto a los quesos bajos en grasa probablemente se deban a que el queso control presentó una mayor relación humedad/sólidos no grasos (1.96) que en los quesos de leche descremada (1.70-1.77: Carmona, 2006), lo que provocaría un efecto de dilución de estos minerales.

En el Cuadro 8 muestra los contenidos en compuestos químicos de interés tecnológico del queso Oaxaca elaborado con distintos niveles de sólidos. La adición de MPC influyó significativamente ( $P < 0.05$ ) sobre el contenido en ácido láctico sobre peso fresco, que fue más abundante en los quesos elaborados con el 11% de sólidos no grasos. Esa mayor cantidad puede ser debida a dos factores: i) una capacidad tampón más elevada en la cuajada (y por lo tanto sería necesaria una mayor cantidad de ácido para llegar al pH deseado de 5.2-5.3), ya que los quesos elaborados con 11% de sólidos no grasos presentaron mayor cantidad de proteína sobre extracto seco (Carmona, 2006); ii) al aporte de lactosa por el MPC agregado a la leche.

Además se observaron diferencias significativas para los rangos de Ca y P cuando se expresaron sobre materia seca no grasa. La adición de MPC a la leche sería la responsable de un aumento en las cantidades de esos dos elementos

minerales (debido al aporte de Ca y P por el MPC), que resultaría en una mayor concentración de Ca y P en la leche al cuajar y por lo tanto en la cuajada al momento del corte.

De los resultados de ambos Cuadros (7 y 8) puede deducirse que el nivel de azúcares, tanto de lactosa como galactosa, en el queso fue muy bajo – la mayor parte de los azúcares de la leche desaparecieron en los quesos debido a la fermentación láctica, además de la eventual pérdida por lixiviación durante el malaxado. Así pues, se puede decir que las BAL utilizadas en el queso Oaxaca elaborado en la planta piloto fueron capaces de degradar la lactosa y utilizar la galactosa generada – no todas las BAL pueden metabolizar la galactosa (Anón, 1999).

Cuadro 7. Especies químicas de interés tecnológico del queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y 9% de sólidos no grasos.

Nivel de grasa de la leche (%)	1.8 (n=3)	2.8 (n=3)	3.5 (n=3)
<u>Sobre peso fresco</u>			
Lactosa (g/100g)	0.06 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.13 <sup>a</sup>
Galactosa (g/100g)	0.15 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.05 <sup>a</sup>
Ácido láctico (g/100g)	1.49 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.32 ± 0.12 <sup>a</sup>	1.27 ± 0.07 <sup>a</sup>
Sal (g/100g)	1.08 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.09 ± 0.10 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	571 ± 135 <sup>a</sup>	473 ± 13 <sup>ab</sup>	363 ± 69 <sup>b</sup>
Calcio (mg/100g)	982 ± 228 <sup>a</sup>	829 ± 31 <sup>ab</sup>	595 ± 147 <sup>b</sup>
<u>Sobre materia seca</u>			
Lactosa (g/100g)	0.13 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.28 <sup>a</sup>
Galactosa (g/100g)	0.34 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.12 <sup>a</sup>
Ácido láctico (g/100g)	3.20 ± 0.49 <sup>a</sup>	2.64 ± 0.22 <sup>a</sup>	2.46 ± 0.28 <sup>a</sup>
Sal (g/100g)	2.36 ± 0.37 <sup>a</sup>	1.72 ± 0.17 <sup>a</sup>	2.12 ± 0.32 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	1230 ± 200 <sup>a</sup>	942 ± 32 <sup>ab</sup>	701 ± 102 <sup>b</sup>
Calcio (mg/100g)	2111 ± 359 <sup>a</sup>	1649 ± 47 <sup>ab</sup>	1147 ± 235 <sup>b</sup>
<u>Sobre materia seca no grasa</u>			
Lactosa (g/100g)	0.19 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.18 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.54 <sup>a</sup>
Galactosa (g/100g)	0.51 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.24 <sup>a</sup>
Ácido láctico (g/100g)	4.73 ± 0.56 <sup>a</sup>	5.21 ± 0.51 <sup>a</sup>	4.46 ± 0.67 <sup>a</sup>
Sal (g/100g)	3.50 ± 0.48 <sup>a</sup>	3.39 ± 0.37 <sup>a</sup>	3.85 ± 0.72 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	1820 ± 306 <sup>a</sup>	1859 ± 95 <sup>a</sup>	1267 ± 202 <sup>b</sup>
Calcio (mg/100g)	3122 ± 516 <sup>a</sup>	3254 ± 148 <sup>a</sup>	2074 ± 449 <sup>b</sup>

<sup>abc</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) mediante la prueba de Tukey.

Cuadro 8. Especies químicas de interés tecnológico del queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (SNG) y 3.5% de grasa.

Nivel de sólidos no grasos de la leche (%)	9 (n=3)	10 (n=3)	11 (n=3)
<u>Sobre peso fresco</u>			
Lactosa (g/100g)	0.17 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.03 <sup>a</sup>
Galactosa (g/100g)	0.18 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.27 ± 0.10 <sup>a</sup>
Ácido láctico (g/100g)	1.27 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.20 ± 0.22 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.20 <sup>a</sup>
Sal (g/100g)	1.09 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.05 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.97 ± 0.20 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	363 ± 69 <sup>a</sup>	451 ± 97 <sup>a</sup>	471 ± 31 <sup>a</sup>
Calcio (mg/100g)	595 ± 147 <sup>a</sup>	729 ± 195 <sup>a</sup>	779 ± 64 <sup>a</sup>
<u>Sobre materia seca</u>			
Lactosa (g/100g)	0.34 ± 0.28 <sup>a</sup>	0.21 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.08 <sup>a</sup>
Galactosa (g/100g)	0.35 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.59 ± 0.25 <sup>a</sup>
Ácido láctico (g/100g)	2.46 ± 0.28 <sup>a</sup>	2.49 ± 0.52 <sup>a</sup>	3.51 ± 0.59 <sup>a</sup>
Sal (g/100g)	2.12 ± 0.32 <sup>a</sup>	2.15 ± 0.22 <sup>a</sup>	2.01 ± 0.31 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	701 ± 102 <sup>a</sup>	929 ± 191 <sup>a</sup>	983 ± 29 <sup>a</sup>
Calcio (mg/100g)	1147 ± 235 <sup>a</sup>	1500 ± 379 <sup>a</sup>	1627 ± 85 <sup>a</sup>
<u>Sobre materia seca no grasa</u>			
Lactosa (g/100g)	0.63 ± 0.54 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.14 <sup>a</sup>
Galactosa (g/100g)	0.63 ± 0.24 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.46 <sup>a</sup>
Ácido láctico (g/100g)	4.46 ± 0.67 <sup>a</sup>	4.60 ± 1.01 <sup>a</sup>	5.96 ± 1.14 <sup>a</sup>
Sal (g/100g)	3.85 ± 0.72 <sup>a</sup>	3.97 ± 0.38 <sup>a</sup>	3.39 ± 0.45 <sup>a</sup>
Fósforo (mg/100g)	1267 ± 202 <sup>b</sup>	1718 ± 363 <sup>a</sup>	1664 ± 45 <sup>a</sup>
Calcio (mg/100g)	2074 ± 449 <sup>b</sup>	2772 ± 714 <sup>a</sup>	2755 ± 116 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) mediante la prueba de Tukey.

## 6.2 Liberación de suero y grasa del queso sin fundir

La liberación de suero y grasa por centrifugación en el queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa o de sólidos no grasos se muestra en los Cuadros 9 y 10, respectivamente. Como se puede apreciar en el Cuadro 9 no hubo liberación de suero ni grasa en el queso elaborado con leche descremada al 1.8% de grasa. Por otra parte, el queso hecho con leche entera fue en el único que mostró una pérdida de grasa apreciable. En el Cuadro 10 se observa que la presencia de mayor o menor cantidad de sólidos no grasos no influyó significativamente sobre la liberación de grasa o suero.

Cuadro 9. Liberación de suero y grasa por centrifugación (expresados en %) en el queso tipo Oaxaca (no fundido) elaborado con leche con distintos niveles de grasa y 9% de sólidos no grasos.

Nivel de grasa de la leche (%)	1.8 (n=3)	2.8 (n=3)	3.5 (n=3)
Suero (%)	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.3 ± 0.1 <sup>a</sup>
Grasa (%)	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	4.3 ± 0.1

Cuadro 10. Liberación de suero y grasa por centrifugación (expresados en %) en el queso tipo Oaxaca (no fundido) elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (SNG) y 3.5% de grasa.

Nivel de sólidos no grasos de la leche (%)	9 (n=3)	10 (n=3)	11 (n=3)
Suero (%)	1.2 ± 0.5 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.3 ± 0.1 <sup>a</sup>
Grasa (%)	3.4 ± 3.4 <sup>a</sup>	4.7 ± 3.9 <sup>a</sup>	4.3 ± 0.1 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) mediante la prueba de Tukey.

### 6.3 Pruebas empíricas de extensión y tiempo de fundido, extrusión y liberación de grasa del queso durante el fundido.

En el Cuadro 11 se observan los valores obtenidos de pruebas empíricas de extensión, tiempo de fundido, propiedades de extrusión y pérdida de grasa del queso Oaxaca elaborado con distintos niveles de materia grasa. El grado de extensión del queso fundido obtenido en las distintas pruebas fueron estudiadas únicamente con efecto ( $P < 0.05$ ) cuando mayor fue el porcentaje de grasa de la leche utilizada para elaborar el queso, obteniéndose diferencias significativas entre tratamientos en muchos de los casos (ver cuadro 11). Los resultados del test de Schreiber fueron los más afectados por el contenido en grasa – este test fue el que mostró diferencia significativa entre tratamientos. Por su parte, el tiempo de fundido fue menor a mayor contenido en grasa de la leche. Encontrándose diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los niveles de 1.8% y 2.8% y el nivel de 3.5% de materia grasa en la leche. En relación con el análisis de extrusión, el descremado de la leche generó quesos cuya masa fundida presentó mayor fuerza, esfuerzo, pendiente y adhesividad (se observaron diferencias significativas entre el tratamiento 1.8% y los otros dos). Finalmente, a mayor cantidad de grasa en la leche mayor pérdida de grasa durante el fundido, observándose diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Cuadro 11. Pruebas empíricas de extensión del queso al fundir y tiempo de fundido, fuerza y esfuerzo de extrusión y pérdida de grasa del queso Oaxaca fundido, elaborado con leche con distintos niveles de grasa y 9% de sólidos no grasos.

Nivel de grasa de la leche (%)	1.8 (n=3)	2.8 (n=3)	3.5 (n=3)
<u>Extensión del queso al fundir y tiempo de fundido</u>			
% de extensión del queso al fundir sobre base plana mediante el test de Schreiber <sup>#</sup>	18.1 ± 2.9 <sup>c</sup>	36.1 ± 5.5 <sup>b</sup>	53.6 ± 2.5 <sup>a</sup>
% de extensión del queso al fundir sobre base plana mediante el test de Schreiber modificado <sup>§</sup>	17.6 ± 2.9 <sup>a</sup>	17.1 ± 5.7 <sup>a</sup>	22.2 ± 0.5 <sup>a</sup>
Distancia de avance (mm) del queso al fundir colocado en un tubo <sup>&amp;</sup>	8.1 ± 1.5 <sup>b</sup>	8.2 ± 1.0 <sup>b</sup>	12.6 ± 1.9 <sup>a</sup>
Tiempo (s) de fundido del queso <sup>@</sup>	2.1 ± 0.2 <sup>a</sup>	2.0 ± 0.6 <sup>a</sup>	1.3 ± 0.1 <sup>b</sup>
<u>Fuerza y esfuerzo de extrusión del queso fundido</u>			
Fuerza máxima (g) de extrusión <sup>*</sup>	188 ± 54 <sup>a</sup>	53 ± 25 <sup>b</sup>	52 ± 21 <sup>b</sup>
Esfuerzo (g s) de extrusión <sup>*</sup>	1845 ± 329 <sup>a</sup>	541 ± 136 <sup>b</sup>	443 ± 91 <sup>b</sup>
Pendiente (g s <sup>-1</sup> ) de la curva de extrusión <sup>*</sup>	16.8 ± 3.2 <sup>a</sup>	5.5 ± 1.5 <sup>b</sup>	4.2 ± 0.8 <sup>b</sup>
Adhesividad (g s) después de la extrusión <sup>*</sup>	579 ± 93 <sup>a</sup>	164 ± 79 <sup>b</sup>	122 ± 12 <sup>b</sup>
<u>Pérdida de grasa del queso fundido</u>			
% de extensión de la grasa liberada por sobre papel de filtro del queso al fundir respecto al área inicial del queso (test de Schreiber) <sup>§</sup> .	21.1 ± 4.0 <sup>b</sup>	26.5 ± 2.8 <sup>ab</sup>	31.6 ± 3.7 <sup>a</sup>
Pérdida de grasa (%) del queso al ser calentado y centrifugado en centrífuga Gerber <sup>¶</sup>	1.2 ± 0.1 <sup>c</sup>	4.0 ± 1.3 <sup>b</sup>	8.6 ± 1.7 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) mediante la prueba de Tukey.

<sup>#</sup> % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Guinee et al., 2000).

<sup>§</sup> % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280°C durante 4min.

<sup>&</sup> Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante 6min (Hennelly, 2005).

<sup>@</sup> Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C (Guinee et al., 2000).

<sup>\*</sup> Ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C.

<sup>§</sup> % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min.

<sup>¶</sup> % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrífuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).

---

---

Todos estos hechos se pueden atribuir principalmente al contenido en grasa de los quesos, que fue proporcional al contenido en grasa de la leche. A medida que el contenido graso de los quesos se incrementa, aumenta su extensión durante el fundido o derretibilidad (Tunick *et al.*, 1991) y hay una disminución en la retención de grasa. En el queso Mozzarella la pérdida de grasa durante el fundido es muy abundante cuando el porcentaje graso sobre extracto seco excede el 37% (Kindstedt, 1993).

Los principales valores de pruebas empíricas de extensión y tiempo de fundido, extrusión y pérdida de grasa del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos se presenta en el Cuadro 12. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la grafica obtenida para una las muestras en el análisis de extrusión. Los quesos control, sin la adición de MPC, presentaron mayor extensión y menor tiempo de fundido que los quesos elaborados con leche adicionada con MPC. Se detectaron diferencias significativas entre el tratamiento con el 9% de sólidos no grasos y el resto en el test de Schreiber y en la distancia recorrida del queso en el tubo ( $P < 0.05$ ). En ensayo de extrusión no se observaron diferencias entre tratamientos, aunque el queso elaborado con leche con más sólidos no grasos fue el que presentó una masa fundida más fuerte. En relación a la liberación de grasa, con el test de Schreiber no se observaron diferencias significativas, mientras que con el método de Gerber hubo más liberación de grasa en el queso control, elaborado sin adición a la leche de MPC y con mayor contenido en grasa. Al igual que lo mencionado anteriormente, al hablar de los quesos elaborados con leche con distintos niveles de grasa, el distinto contenido en grasa de los quesos sería el principal factor causante de las diferencias en las propiedades de fundido, liberación de grasa y en el ensayo de extrusión (Carmona, 2006).



Cuadro 12. Pruebas empíricas de extensión del queso al fundir y tiempo de fundido, fuerza, esfuerzo de extrusión y pérdida de grasa del queso tipo Oaxaca fundido, elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (SNG) y 3.5% de grasa.

Nivel de sólidos no grasos de la leche (%)	9 (n=3)	10 (n=3)	11 (n=3)
<u>Extensión del queso al fundir y tiempo de fundido</u>			
% de extensión del queso al fundir sobre base plana mediante el test de Schreiber <sup>#</sup>	53.6 ± 2.5 <sup>a</sup>	25.3 ± 0.9 <sup>b</sup>	24.3 ± 4.0 <sup>b</sup>
% de extensión del queso al fundir sobre base plana mediante el test de Shreiber modificado <sup>§</sup>	22.2 ± 0.5 <sup>a</sup>	20.9 ± 0.3 <sup>ab</sup>	20.3 ± 1.1 <sup>b</sup>
Distancia de avance (mm) del queso al fundir colocado en un tubo <sup>&amp;</sup>	12.6 ± 1.9 <sup>a</sup>	7.1 ± 2.5 <sup>b</sup>	6.5 ± 1.5 <sup>b</sup>
Tiempo (s) de fundido del queso <sup>@</sup>	1.3 ± 0.1 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.7 ± 0.3 <sup>a</sup>
<u>Fuerza y esfuerzo de extrusión del queso fundido</u>			
Fuerza máxima (g) de extrusión <sup>*</sup>	52 ± 21 <sup>a</sup>	46 ± 21 <sup>a</sup>	79 ± 35 <sup>a</sup>
Esfuerzo (g s) de extrusión <sup>*</sup>	443 ± 91 <sup>a</sup>	408 ± 159 <sup>a</sup>	585 ± 150 <sup>a</sup>
Pendiente (g s <sup>-1</sup> ) de la curva de extrusión <sup>*</sup>	4.2 ± 0.8 <sup>a</sup>	3.8 ± 1.3 <sup>a</sup>	5.5 ± 1.0 <sup>a</sup>
Adhesividad (g s) después de la extrusión <sup>*</sup>	122 ± 12 <sup>a</sup>	154 ± 69 <sup>a</sup>	197 ± 60 <sup>a</sup>
<u>Pérdida de grasa del queso fundido</u>			
% de extensión de la grasa liberada por sobre papel de filtro del queso al fundir respecto al área inicial del queso (test de Schreiber) <sup>§</sup> .	31.6 ± 3.7 <sup>a</sup>	38.0 ± 7.3 <sup>a</sup>	38.4 ± 8.6 <sup>a</sup>
Pérdida de grasa (%) del queso al ser calentado y centrifugado en centrífuga Gerber <sup>¶</sup>	8.6 ± 1.7 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.3 <sup>b</sup>	4.4 ± 1.7 <sup>b</sup>

<sup>abc</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas (P < 0.05) mediante la prueba de Tukey.

<sup>#</sup> % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Guinee et al., 2000).

<sup>§</sup> % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280°C durante 4min.

<sup>&</sup> Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante 6min (Hennelly, 2005).

<sup>@</sup> Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C (Guinee et al., 2000).

<sup>\*</sup> Ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C.

<sup>§</sup> % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min.

<sup>¶</sup> % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrífuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).

En el Cuadro 13 se muestran los coeficientes de correlación entre las distintas pruebas empíricas de medida de las propiedades funcionales del fundido (extensión,

tiempo de fundido, extrusión y retención de grasa) del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa. De la información de este cuadro se pueden resaltar las siguientes observaciones:

- i) El test de Schreiber tuvo una correlación significativa ( $P < 0.05$ ) con todas las otras pruebas realizadas excepto con el test de Schreiber modificado.
- ii) De las correlaciones entre extensión y tiempo de fundido, por una parte, con retención de grasa, por otra, se puede deducir que los quesos con mayor extensión y menos tiempo de fundido (ambas características se consideran positivas) presentaron mayor liberación de grasa (característica negativa).
- iii) El ensayo de extrusión diseñado en esta tesis estuvo correlacionado significativamente tanto con medidas de extensión del queso fundido y liberación de grasa.

Cuadro 13. Coeficiente de correlación lineal (R) entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en queso tipo Oaxaca fundido, elaborado con leche con distintos niveles de grasa (1.8, 2.8, 3.5%) y 9% sólidos no grasos (n=9).

	EScm	DATu	TFun	F <sub>max</sub> E	EsfE	PendE	AdhE	GLSc	GLGe
ESc	0,59	0,73*	-0,75*	-0,80*	-0,86*	-0,88*	-0,90*	0,81*	0,90*
Esch	1,00	0,57	-0,94*	-0,37	-0,36	-0,41	-0,40	0,51	0,64
DATu		1,00	-0,79*	-0,38	-0,43	-0,46	-0,49	0,67*	0,81*
TFun			1,00	0,47	0,47	0,53	0,54	-0,70*	-0,81*
F <sub>max</sub> E				1,00	0,96*	0,98*	0,97*	-0,72*	-0,72*
EsfE					1,00	0,97*	0,97*	-0,66*	-0,78*
PendE						1,00	0,99*	-0,77*	-0,79*
AdhE							1,00	-0,75*	-0,79*
GLSc								1,00	0,84*
GLGe									1,00

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

ESc: % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Guinee et al., 2000).

EScm: % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280°C durante 4min.

DATu: Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante 6min (Hennelly, 2005).

TFun: Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C (Guinee et al., 2000).

F<sub>max</sub>E: valor de fuerza máxima (g); EsfE: valor de esfuerzo (g s); PendE: valor de la pendiente de inicio de la extrusión hasta alcanzar la fuerza máxima (g/s); AdhE: valor de adhesividad (g s); en ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C. GLSc: % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min. GLGe: % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrífuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).

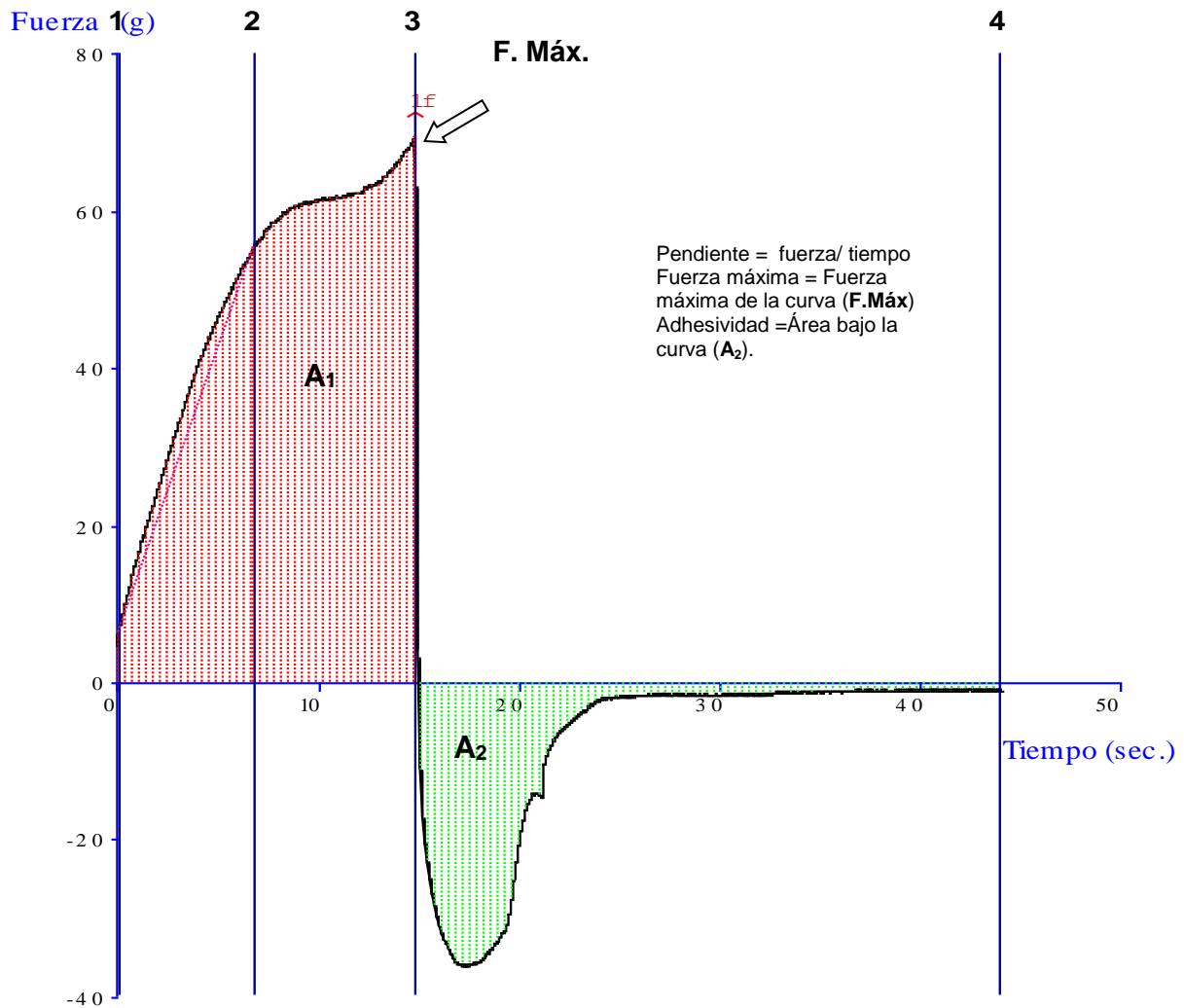


Figura 2. Perfil obtenido del análisis de extrusión inversa de una muestra de queso tipo Oaxaca fundido a 70°C.

Las correlaciones entre las medidas del fundido del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (Cuadro 14) indicaron lo siguiente:

- i) Que el test de Schreiber fue el más correlacionado con el resto de las pruebas de extensión, tiempo de fundido y liberación de grasa.

ii) Al igual que lo comentado para el Cuadro 14, los quesos con mayor extensión durante el fundido (los quesos control, sin adición de MPC, con mayor contenido en grasa) fueron los de menor retención de grasa.

iii) No hubo correlación significativa entre el ensayo de extrusión y la extensión, tiempo de fundido o liberación de grasa.

iv) Tampoco hubo correlación significativa entre las dos pruebas empleadas para la determinación de la liberación de grasa.

Cuadro 14. Coeficiente de correlación lineal (R) entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en el queso tipo Oaxaca fundido, elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (9,10, 11%) y 3.5% de grasa (n=9).

	EScm	DATu	TFun	F <sub>max</sub> E	EsfE	PendE	AdhE	GLSc	GLGe
ESc	0,82*	0,86*	-0,50	-0,23	-0,25	-0,20	-0,51	-0,50	0,82*
Esch	1,00	0,69*	-0,21	-0,49	-0,52	-0,49	-0,59	-0,50	0,60
DATu		1,00	-0,50	-0,42	-0,57	-0,49	-0,64	-0,22	0,76*
TFun			1,00	-0,03	0,02	0,19	0,08	-0,04	-0,66*
F <sub>max</sub> E				1,00	0,79*	0,64	0,85*	0,30	0,05
EsfE					1,00	0,94*	0,72*	-0,08	-0,08
PendE						1,00	0,61	-0,17	-0,12
AdhE							1,00	0,48	-0,18
GLSc								1,00	-0,12
GLGe									1,00

\* Coeficiente de correlación asociado a una P < 0.05.

ESc: % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Guinee et al., 2000).

EScm: % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280°C durante 4min.

DATu: Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante 6min (Hennelly, 2005).

TFun: Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C (Guinee et al., 2000).

F<sub>max</sub>E: valor de fuerza máxima (g); EsfE: valor de esfuerzo (g s); PendE: valor de la pendiente de inicio de la extrusión hasta alcanzar la fuerza máxima (g/s); AdhE: valor de adhesividad (g s); en ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C.

GLSc: % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min.

GLGe: % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrífuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).

En los Cuadros 15 y 16 se muestran los coeficientes de correlación entre distintos parámetros de composición del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y distintos niveles de sólidos no grasos, respectivamente. De los datos de la tabla cabe resaltar que, además de las esperadas correlaciones entre los distintos parámetros de la composición proximal (grasa, proteína, humedad, sólidos no grasos, etc.) hubo una fuerte correlación entre el Ca y el P expresados sobre materia seca no grasa. Esta correlación era previsible ya que el Ca y el P están ambos implicados en la formación de la cuajada (Fosfato cálcico) – cuanto más haya de uno más habrá del otro. A medida que el pH desciende durante la acidificación de la cuajada, el contenido en Ca y P descienden (Kindsedt, 1993).

Cuadro 15. Coeficiente de correlación lineal (R) entre distintos parámetros de composición del queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa (1.8, 2.8, 3.5%) y 9% de sólidos no grasos (n=9).

	Ca <sub>SNG</sub>	P <sub>SNG</sub>	SNG	Gra <sub>ES</sub>	Prot <sub>ES</sub>	HUM	HUM/SNG	Gra/SNG
Lac <sub>SNG</sub>	0,38	0,37	0,27	-0,14	0,04	-0,14	-0,24	-0,11
Ca <sub>SNG</sub>	1,00	1,00*	0,59	-0,53	0,54	-0,07	-0,50	-0,64
P <sub>SNG</sub>		1,00	0,58	-0,55	0,58	-0,02	-0,46	-0,66
SNG			1,00	-0,75*	0,60	-0,33	-0,87*	-0,69*
Gra <sub>ES</sub>				1,00	-0,93*	-0,38	0,33	0,96*
Prot <sub>ES</sub>					1,00	0,48	-0,20	-0,88*
HUM						1,00	0,74*	-0,41
HUM/SNG							1,00	0,29
Gra/SNG								1,00

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

Lac<sub>SNG</sub>: % de ácido láctico sobre materia seca desengrasada

Ca<sub>SNG</sub>: mg de Ca por 100g de materia seca desengrasada

P<sub>SNG</sub>: mg de P por 100g de materia seca desengrasada

SNG: sólidos no grasos

Gra<sub>ES</sub>: % de grasa sobre extracto seco

Prot<sub>ES</sub>: % de proteína sobre extracto seco

Hum: % de humedad

Gra/SNG: % de grasa entre el % de sólidos no grasos.

Cuadro 16. Coeficientes de correlación lineal (R) entre distintos parámetros de composición del queso Oaxaca elaborado con leche distintos niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%) y un 3.5% de grasa (n = 9).

	Ca <sub>SNG</sub>	P <sub>SNG</sub>	SNG	Gra <sub>ES</sub>	Prot <sub>ES</sub>	HUM	HUM/SNG	Gra/SNG
La <sub>C<sub>SNG</sub></sub>	0,45	0,48	-0,10	-0,44	0,50	0,77*	0,41	-0,26
Ca <sub>SNG</sub>	1,00	0,98*	0,37	-0,51	0,40	0,13	-0,22	-0,28
P <sub>SNG</sub>		1,00	0,30	-0,51	0,43	0,25	-0,11	-0,30
SNG			1,00	-0,77*	0,62	-0,46	-0,91*	-0,69*
Gra <sub>ES</sub>				1,00	-0,95*	-0,21	0,44	0,91*
Prot <sub>ES</sub>					1,00	0,38	-0,25	-0,93*
HUM						1,00	0,78*	-0,20
HUM/SNG							1,00	0,39
Gra/SNG								1,00

\* Coeficiente de correlación asociado a una P < 0.05.

La<sub>C<sub>SNG</sub></sub>: % de ácido láctico sobre materia seca desengrasada

Ca<sub>SNG</sub>: mg de Ca por 100g de materia seca desengrasada

P<sub>SNG</sub>: mg de P por 100g de materia seca desengrasada

SNG: sólidos no grasos

Gra<sub>ES</sub>: % de grasa sobre extracto seco

Prot<sub>ES</sub>: % de proteína sobre extracto seco

Hum: % de humedad

Gra/SNG: % de grasa entre el % de sólidos no grasos

En el Cuadro 17 se correlacionan los parámetros de fundido con los de composición del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa. De este cuadro cabe resaltar dos hechos. En primer lugar, el contenido en grasa del queso sobre extracto seco o sobre sólidos no grasos fueron los parámetros de composición del queso mejor correlacionados con los parámetros de fundido. El efecto de la disminución en la extensión del fundido y el aumento en la viscosidad del queso fundido al aumentar su contenido en grasa sobre extracto seco también ha sido observado en queso Mozzarella por Tunick *et al.* (1993). En otros trabajos también se ha encontrado que los quesos bajos en grasa presentan menor liberación de la misma y mayor oscurecimiento (Rudan *et al.*, 1998).

En segundo lugar, los contenidos en Ca y P (ambos positivamente correlacionados entre sí y presentes en mayor cantidad en quesos de leche descremada que en quesos de leche entera) estuvieron negativa y significativamente correlacionados con la elongación en tubo y liberación de gasa y positivamente con el tiempo de fundido. En relación al efecto del Ca de queso, en concordancia con nuestros resultados, en el estudio de Joshi *et al.* (2004), en el que se elaboraron

---

---

quesos Mozzarella con leche semidescremada y con distintos niveles de Ca, se observó que a menor cantidad de Ca, mayor fue la extensión del fundido de los quesos. Además, según dichos autores, a menor contenido en Ca la matriz proteica estuvo más hidratada, tuvo un mayor número de partículas grasas mejor emulsificadas que en los quesos con mayor contenido en Ca. Por lo tanto, a menor cantidad de Ca mejor características de fundido. El Ca, por otra parte, afecta a la firmeza del queso. Un queso con Mozzarella con más Ca (y presumiblemente también un queso Oaxaca) es más firme y también más fácil de desmenuzarse (Anón, 1999). Por este motivo, es importante que el queso tenga una determinada cantidad de Ca que no lo haga blando y gomoso. Teniendo en cuenta ambos efectos, el Ca debe encontrarse en una cantidad intermedia que no perjudique el fundido ni el deshebrado o desmenuzados. La cantidad de Ca en la cuajada se regula principalmente por el pH de la misma. Para el queso Mozzarella el contenido ideal de Ca es aproximadamente del 25% de la cantidad inicial de Ca de la cuajada (Anón, 1999).

La correlación entre los parámetros de fundido y los de composición del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos se muestra en el Cuadro 18. El contenido en grasa o proteína del queso sobre extracto seco fueron los parámetros de composición del queso mejor correlacionados con la extensión y tiempo de fundido. La humedad estuvo correlacionada positivamente con el tiempo de fundido y negativamente con la liberación de grasa por el método Gerber. A diferencia de lo observado para los quesos elaborados con leche con distintos niveles de grasa (Cuadro 17), hubo una falta de correlación significativa entre el contenido en Ca y la extensión del fundido y liberación de grasa.

Cuadro 17. Coeficientes de correlación lineal (R) entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en queso Oaxaca fundido y los parámetros de composición de queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y un 9% de sólidos no grasos (n = 9).

	Esc	EScm	DATu	TFun	F <sub>max</sub> E	EsfE	PendE	AdhE	GLSc	GLGe
LacSNG	-0,12	-0,63	-0,36	0,57	0,09	0,01	0,07	-0,00	-0,48	-0,37
CaSNG	-0,62	-0,45	-0,94*	0,69*	0,30	0,27	0,36	0,39	-0,69*	-0,68*
PSNG	-0,64	-0,43	-0,93*	0,68*	0,31	0,29	0,38	0,41	-0,71*	-0,69*
SNG	-0,74*	-0,72*	-0,59	0,80*	0,71*	0,60	0,71*	0,73*	-0,66	-0,66
GraES	0,97*	0,53	0,64	-0,67*	-0,91*	-0,94*	-0,96*	-0,96*	0,82*	0,87*
ProtES	-0,93*	-0,39	-0,62	0,58	0,79*	0,82	0,86*	0,88*	-0,83*	-0,78*
HUM	-0,34	0,26	-0,08	-0,16	0,32	0,50	0,38	0,35	-0,28	-0,32
HUM/SNG	0,37	0,64	0,42	-0,66	-0,31	-0,15	-0,29	-0,33	0,32	0,30
Gra/SNG	0,96*	0,44	0,71*	-0,62	-0,83*	-0,88*	-0,90*	-0,91*	0,80*	0,88*

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

LacSNG: % de ácido láctico sobre materia seca desengrasada

CaSNG: mg de Ca por 100g de materia seca desengrasada

PSNG: mg de P por 100g de materia seca desengrasada

SNG: sólidos no grasos

GraES: % de grasa sobre extracto seco

ProtES: % de proteína sobre extracto seco

Hum: % de humedad

Gra/SNG: % de grasa entre el % de sólidos no grasos

Esc: % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Richoux et al., 2001).

EScm: % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280°C durante 4min (Guinee et al., 2000).

DATu: Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante min (Hennelly, 2005).

TFun: Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C (Guinee et al., 2000).

F<sub>max</sub>E: valor de fuerza máxima (g); EsfE: valor de esfuerzo (g/s); PendE: valor de la pendiente de inicio de la extrusión hasta alcanzar la fuerza máxima (g/s); AdhE: valor de adhesividad (g/s); en ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8 cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C.

GLSc: % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Richoux et al., 2001).

GLGe: % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrífuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).



Cuadro 18. Coeficientes de correlación lineal (R) entre las variables de extensión, del ensayo de extrusión y de liberación de grasa en queso Oaxaca fundido y los parámetros de composición de queso Oaxaca elaborado con leche distintos niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%) y un 3.5% de grasa (n = 9).

	ESc	EScm	DATu	TFun	F <sub>max</sub> E	EsfE	PendE	AdhE	GLSc	GLGe
LacSNG	-0,34	-0,39	-0,27	0,70*	-0,03	0,14	0,31	-0,17	-0,12	-0,44
CaSNG	-0,60	-0,55	-0,48	0,38	0,02	-0,01	-0,01	0,16	0,62	-0,53
PSNG	-0,67*	-0,57	-0,50	0,44	-0,04	-0,10	-0,10	0,11	0,61	-0,63
SNG	-0,49	-0,57	-0,49	-0,02	0,71*	0,53	0,41	0,86*	0,74*	0,01
GraES	0,81*	0,81*	0,77*	-0,47	-0,63	-0,57	-0,53	-0,73*	-0,52	0,46
ProtES	-0,81*	-0,71*	-0,81*	0,67*	0,56	0,54	0,54	0,68*	0,34	-0,58
HUM	-0,38	-0,27	-0,32	0,68*	-0,19	-0,02	0,10	-0,29	-0,39	-0,67*
HUM/SNG	0,18	0,27	0,20	0,33	-0,55	-0,38	-0,25	-0,72*	-0,69*	-0,31
Gra/SNG	0,81*	0,66	0,85*	-0,44	-0,56	-0,59	-0,49	-0,73*	-0,32	0,47

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

LacSNG: % de ácido láctico sobre materia seca desengrasada

CaSNG: mg de Ca por 100g de materia seca desengrasada

PSNG: mg de P por 100g de materia seca desengrasada

SNG: sólidos no grasos

GraES: % de grasa sobre extracto seco

ProtES: % de proteína sobre extracto seco

Hum: % de humedad

Gra/SNG: % de grasa entre el % de sólidos no grasos

ESc: % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Richoux et al., 2001).

EScm: % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280°C durante 4min (Guinee et al., 2000).

DATu: Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante 6min (Hennelly, 2005).

TFun: Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C (Guinee et al., 2000).

F<sub>max</sub>E: valor de fuerza máxima (g); EsfE: valor de esfuerzo (g/s); PendE: valor de la pendiente de inicio de la extrusión hasta alcanzar la fuerza máxima (g/s); AdhE: valor de adhesividad (g/s); en ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8 cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C.

GLSc: % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Richoux et al., 2001).

GLGe: % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrífuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).

En la Figura 3 y 4 se muestran las representaciones de la cargas de diversas variables de composición y características de fundido del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y sólidos no grasos, respectivamente, en los ejes correspondientes a los dos componentes principales. Con estas figuras se puede analizar en qué medida están correlacionadas las variables consideradas en el análisis. Cuanto más cercanas estén las variables en la gráfica más correlacionadas se encuentran. Igualmente, cuanto más alejadas se encuentren, si

---

---

las variables están en la parte opuesta de los correspondientes ejes, más correlación negativa presentan (mayor a mayor distancia).

Así, se puede observar en la Figura 3 que el componente principal 1 (Factor 1) viene determinado, en la parte negativa por la grasa sobre extracto seco, la grasa liberada por el método Gerber y el test de Schreiber; mientras que el componente principal 2 (Factor 2) estuvo influenciado positivamente por la humedad y el test de Schreiber modificado. Además se observa que, de acuerdo al componente 1, el test de Schreiber estuvo correlacionado positivamente con el contenido en grasa sobre extracto seco y con la grasa liberada por el método de Gerber y todas ellas presentaron correlaciones negativas con la fuerza máxima y el contenido en Ca sobre sólidos no grasos.

En la Figura 4 se aprecia una tendencia similar a la explicada en la Figura 3. Sin embargo, la fuerza máxima de extrusión pierde protagonismo en el componente principal 1 y el contenido en humedad del queso se hace más fuerte en el componente principal 2.

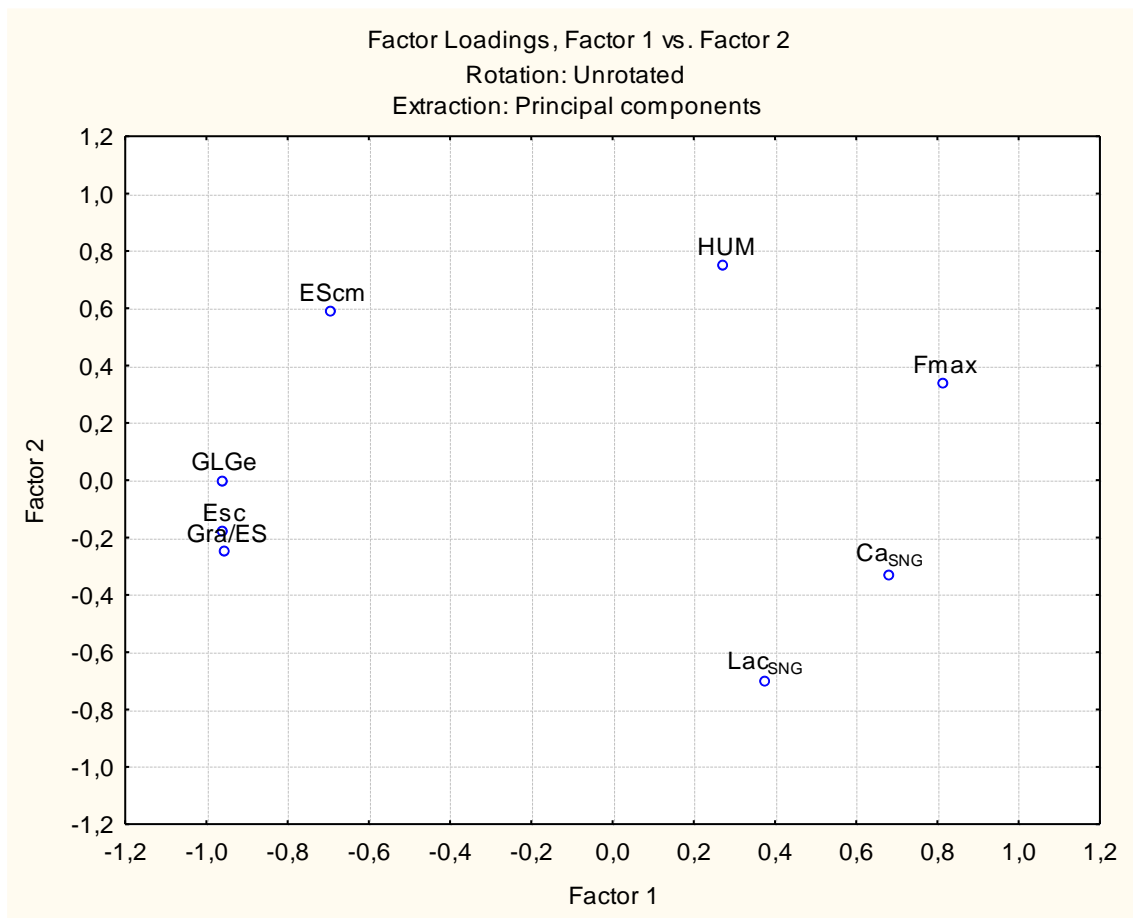


Figura 3. Cargas obtenidas en el análisis de componentes principales con los parámetros de composición independientes entre sí (Gra/ES: % de grasa sobre extracto seco; HUM: % de humedad; La<sub>CSNG</sub>: % de ácido láctico sobre sólidos no grasos; Ca<sub>SNG</sub>: mg de Ca por 100 g de sólidos no grasos) y los parámetros funcionales de extensión de fundido (ESc: Test de Schreiber; esch: test de Schreiber modificado; no correlacionados significativamente entre sí), de liberación de grasa en el fundido (GLGe: test de Gerber) y del ensayo de extrusión (Fmax) en el queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa (1.8, 2.8 y 3.5) y un 9% de sólidos.

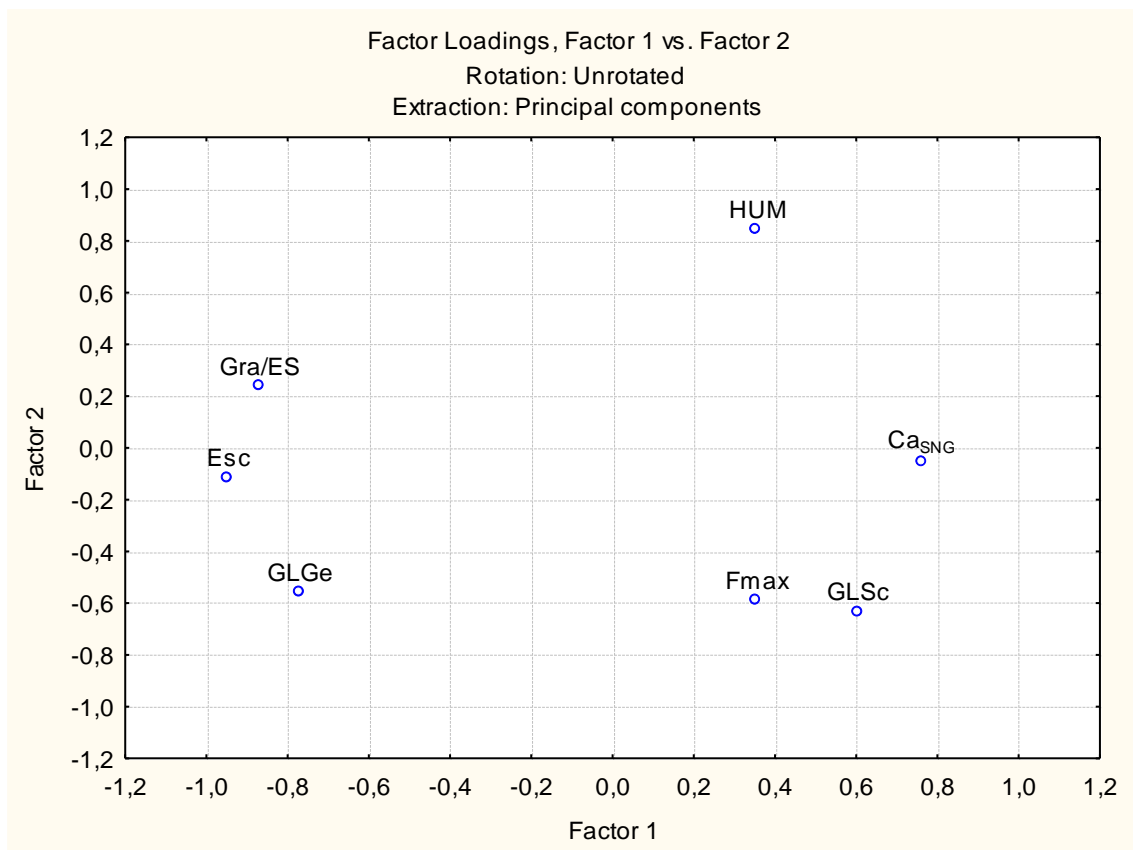


Figura 4. Cargas obtenidas en el análisis de componentes principales con los parámetros de composición independientes entre sí (Gra/ES: % de grasa sobre extracto seco; HUM: % de humedad; Ca<sub>SNG</sub>: mg de Ca por 100g de sólidos no grasos) y los parámetros funcionales de extensión de fundido según el test de Schreiber (ESc), de liberación de grasa en el fundido (GLSc: test de Schreiber; GLGe: test de Gerber) y del ensayo de extrusión (Fmax) en el queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%) y un 3.5% de grasa.

---

---

#### 6.4 Cambios en el color y en la extensión durante el fundido a distintas temperaturas

En los Cuadros 19 y 20 se muestran los cambios en los parámetros del color CIELab del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y sólidos no grasos, respectivamente, colocado sobre una tortilla de harina y sometido a un calentamiento de 20min a distintas temperaturas (de 120 a 200°C). En ambas Tablas se puede apreciar que el valor de  $L^*$  disminuyó para todos los niveles de grasa y sólidos no grasos y para todas las temperaturas. Así mismo, este valor fue más bajo a medida que se aumentó la temperatura. No se observaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre los distintos niveles de grasa y sólidos no grasos en el valor  $L^*$ . Con respecto al valor  $a^*$ , éste aumentó con el tratamiento térmico, siendo el incremento mayor cuanto mayor fue la temperatura de calentamiento. Como en el caso de  $L^*$ , tampoco se observaron diferencias significativas entre niveles de grasa o sólidos no grasos de la leche empleada para elaborar el queso. Finalmente, el comportamiento de  $b^*$  fue similar al de  $a^*$ : aumentó con el tratamiento térmico, a temperaturas más elevadas y sin diferencias entre niveles de grasa o sólidos no grasos.

La evolución en los valores de  $L^*$  y  $a^*$  observados al calentar el queso se puede atribuir al efecto generado por los cambios físicos en la fase acuosa (suero) confinada en la matriz proteica (Rudan *et al.*, 1999), siendo una de las principales causas de dichos cambios la pérdida de humedad por evaporación.

Los cambios en el valor  $b^*$  se atribuyen a la reacción de Maillard, que tiene lugar al calentar el queso y que es más intensa cuanto mayor es la cantidad de azúcares y también de aminoácidos libres (Anón., 1999; Imm *et al.*, 2003). Como se observó anteriormente, la cantidad de azúcares del queso Oaxaca es baja así como el grado de la proteólisis (y por lo tanto la cantidad de aminoácidos; García, 2006). Así pues, cabe esperar un escaso pardeamiento en el queso Oaxaca durante su calentamiento. Así mismo, la baja cantidad de azúcares y el presumiblemente bajo nivel de proteólisis puede ser la causa de que no hubiera correlación entre los contenidos en lactosa o galactosa en el queso y el valor  $b^*$ .

De hecho no se observó pardeamiento apreciable en los quesos durante el calentamiento a las distintas temperaturas ensayadas.

Cuadro 19. Color del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa y un 9% de sólidos no grasos, antes y después de su calentamiento (tiempo, temperatura).

Nivel de grasa de la leche (%)	1.8 (n=3)	2.8 (n=3)	3.5 (n=3)
<u>L*</u>			
L* inicio	81.4 ± 2.0 <sup>a1</sup>	83.2 ± 0.7 <sup>a1</sup>	83.0 ± 3.3 <sup>a1</sup>
L* (20 min, 120 °C)	62.2 ± 3.6 <sup>a2</sup>	63.4 ± 3.0 <sup>a2</sup>	66.9 ± 2.6 <sup>a2</sup>
L* (20 min, 140 °C)	58.4 ± 3.5 <sup>a23</sup>	60.6 ± 4.6 <sup>a2</sup>	62.0 ± 2.2 <sup>a23</sup>
L* (20 min, 160 °C)	56.3 ± 2.8 <sup>a23</sup>	62.6 ± 4.9 <sup>a2</sup>	58.1 ± 1.9 <sup>a23</sup>
L* (20 min, 180 °C)	52.3 ± 5.3 <sup>a23</sup>	52.5 ± 4.1 <sup>a2</sup>	56.6 ± 6.9 <sup>a23</sup>
L* (20 min, 200 °C)	50.3 ± 3.3 <sup>a3</sup>	56.4 ± 4.5 <sup>a2</sup>	53.6 ± 3.7 <sup>a3</sup>
<u>a*</u>			
a* inicio	-1.3 ± 0.3 <sup>a4</sup>	-0.8 ± 0.4 <sup>a3</sup>	-0.8 ± 0.6 <sup>a2</sup>
a* (20 min, 120 °C)	-0.4 ± 0.9 <sup>a34</sup>	0.6 ± 1.1 <sup>a23</sup>	0.1 ± 0.9 <sup>a2</sup>
a* (20 min, 140 °C)	2.6 ± 0.4 <sup>a34</sup>	1.4 ± 0.6 <sup>a12</sup>	1.6 ± 0.2 <sup>a2</sup>
a* (20 min, 160 °C)	4.3 ± 0.8 <sup>a23</sup>	1.6 ± 1.3 <sup>a12</sup>	4.6 ± 0.3 <sup>a12</sup>
a* (20 min, 180 °C)	6.8 ± 1.4 <sup>a12</sup>	6.7 ± 1.5 <sup>a1</sup>	7.5 ± 4.6 <sup>a1</sup>
a* (20 min, 200 °C)	11.4 ± 1.9 <sup>a1</sup>	6.0 ± 4.0 <sup>a1</sup>	9.3 ± 2.4 <sup>a1</sup>
<u>b*</u>			
b* inicio	15.7 ± 1.0 <sup>a3</sup>	17.2 ± 0.6 <sup>a3</sup>	17.5 ± 1.5 <sup>a4</sup>
b* (20 min, 120 °C)	20.8 ± 1.6 <sup>a23</sup>	21.2 ± 0.2 <sup>a23</sup>	20.4 ± 1.2 <sup>a34</sup>
b* (20 min, 140 °C)	24.6 ± 2.3 <sup>a2</sup>	21.9 ± 1.2 <sup>a123</sup>	22.9 ± 0.1 <sup>a34</sup>
b* (20 min, 160 °C)	24.8 ± 1.2 <sup>a2</sup>	23.8 ± 4.3 <sup>a12</sup>	26.0 ± 1.0 <sup>a123</sup>
b* (20 min, 180 °C)	26.7 ± 2.7 <sup>a2</sup>	27.5 ± 3.3 <sup>a12</sup>	28.4 ± 3.8 <sup>a12</sup>
b* (20 min, 200 °C)	30.0 ± 1.5 <sup>a1</sup>	28.1 ± 0.9 <sup>a1</sup>	30.3 ± 3.6 <sup>a1</sup>

<sup>abc</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas (P < 0.05) mediante la prueba de Tukey.

<sup>1234</sup> Medias de la misma columna sin ningún número en común presentaron diferencias significativas (P < 0.05) mediante la prueba de Tukey.

Cuadro 20. Color del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos y un 3.5% de grasa, antes y después de su calentamiento (tiempo, temperatura).

Nivel de sólidos no grasos (%)	9 (n=3)	10 (n=3)	11 (n=3)
<u>L*</u>			
L* inicio	83.0 ± 3.3 <sup>a1</sup>	79.5 ± 1.4 <sup>a1</sup>	81.3 ± 3.3 <sup>a1</sup>
L* (20 min, 120 °C)	66.9 ± 2.6 <sup>a2</sup>	63.9 ± 3.8 <sup>a2</sup>	65.0 ± 4.5 <sup>a2</sup>
L* (20 min, 140 °C)	62.0 ± 2.2 <sup>a23</sup>	61.2 ± 4.7 <sup>a2</sup>	62.0 ± 6.6 <sup>a23</sup>
L* (20 min, 160 °C)	58.1 ± 1.9 <sup>a23</sup>	58.1 ± 1.8 <sup>a23</sup>	62.5 ± 3.5 <sup>a23</sup>
L* (20 min, 180 °C)	56.6 ± 6.9 <sup>a23</sup>	57.4 ± 6.2 <sup>a23</sup>	56.8 ± 3.5 <sup>a23</sup>
L* (20 min, 200 °C)	53.6 ± 3.7 <sup>a3</sup>	58.9 ± 4.0 <sup>a3</sup>	51.4 ± 1.1 <sup>a3</sup>
<u>a*</u>			
a* inicio	-0.8 ± 0.6 <sup>a2</sup>	-1.2 ± 0.4 <sup>a3</sup>	-1.2 ± 0.1 <sup>a2</sup>
a* (20 min, 120 °C)	0.1 ± 0.9 <sup>a2</sup>	0.5 ± 2.1 <sup>a23</sup>	-1.0 ± 0.6 <sup>a2</sup>
a* (20 min, 140 °C)	1.6 ± 0.2 <sup>a2</sup>	1.4 ± 1.6 <sup>a23</sup>	0.4 ± 1.6 <sup>a2</sup>
a* (20 min, 160 °C)	4.6 ± 0.3 <sup>a12</sup>	2.7 ± 1.8 <sup>a23</sup>	2.4 ± 0.8 <sup>a2</sup>
a* (20 min, 180 °C)	7.5 ± 4.6 <sup>a1</sup>	6.1 ± 4.7 <sup>a2</sup>	4.6 ± 2.0 <sup>a12</sup>
a* (20 min, 200 °C)	9.3 ± 2.4 <sup>a1</sup>	9.5 ± 5.3 <sup>a1</sup>	8.7 ± 3.0 <sup>a1</sup>
<u>b*</u>			
b* inicio	17.5 ± 1.5 <sup>a4</sup>	16.8 ± 0.9 <sup>a2</sup>	16.8 ± 0.4 <sup>a3</sup>
b* (20 min, 120 °C)	20.4 ± 1.2 <sup>a34</sup>	21.2 ± 3.9 <sup>a12</sup>	18.8 ± 1.3 <sup>a23</sup>
b* (20 min, 140 °C)	22.9 ± 0.1 <sup>a12</sup>	23.2 ± 2.2 <sup>a12</sup>	22.2 ± 1.6 <sup>a123</sup>
b* (20 min, 160 °C)	26.0 ± 1.0 <sup>a123</sup>	22.6 ± 1.1 <sup>a12</sup>	24.1 ± 1.2 <sup>a12</sup>
b* (20 min, 180 °C)	28.4 ± 3.8 <sup>a12</sup>	27.4 ± 5.0 <sup>a1</sup>	25.5 ± 3.2 <sup>a12</sup>
b* (20 min, 200 °C)	30.3 ± 3.6 <sup>a1</sup>	27.8 ± 3.0 <sup>a1</sup>	29.1 ± 3.9 <sup>a1</sup>

<sup>abc</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas (P < 0.05) mediante la prueba de Tukey.

<sup>1234</sup> Medias de la misma columna sin ningún número en común presentaron diferencias significativas (P < 0.05) mediante la prueba de Tukey.

En las Figura 5 (I a V) se muestran los cambios en la extensión durante el fundido del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa, a varias temperaturas y durante un tiempo máximo de 20min. El porcentaje de extensión aumentó progresivamente con el tiempo, aunque generalmente la mayor velocidad de extensión tuvo lugar en los primeros 8-10min. El queso control, con mayor contenido en grasa, fue el que presentó mayor porcentaje de extensión a las temperaturas de 120 y 140°C. A mayores temperaturas, los porcentajes de extensión del queso control y del elaborado con leche con 2.8% de grasa fueron similares.

---

---

El queso elaborado con leche con el 1.8% de grasa fue el que menor extensión mostró en todos los casos.

Para el queso control, el porcentaje de extensión aumentó considerablemente al pasar de 120 a 140°C. Por encima de 140°C no se observó un claro aumento del porcentaje de extensión. En el caso del queso elaborado con leche con el 2.8% de grasa, el porcentaje de extensión aumentó progresivamente a medida que se aumentó la temperatura de fundido de 120 a 200°C. Al considerar la cinética del queso elaborado con leche baja en grasa (1.8%), hubo un claro incremento en el porcentaje de extensión al pasar de 140 a 160°C (del 20 al 60%). Como resumen de los hechos mencionados, a mayor contenido en grasa mayor velocidad de extensión y en los quesos con bajo contenido en grasa el umbral de temperatura para que se produzca extensión en el fundido es mayor que en los quesos Oaxaca con más cantidad de grasa.

En las Figura 6 (i a v) se recoge la cinética de la extensión del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos, durante el tratamiento térmico a distintas temperaturas hasta 20min. Las curvas de los distintos tratamientos mostraron un comportamiento similar entre tratamientos. No se puede decir que el % de sólidos no grasos de la leche tenga un efecto significativo sobre el % de extensión. Sin embargo, se puede ver una tendencia del queso control, sin adición de MPC, hacia una mayor velocidad y cantidad de extensión. La extensión aumentó progresivamente con el tiempo, teniendo lugar el incremento más importante entre 8 y 10min. Hubo un aumento en los porcentajes de extensión entre los 120 y 140°C en el caso del queso control y entre 140 y 160°C en el caso del queso con mayor contenido en sólidos.

Según Wang y Sun (2003), como se puede deducir lógicamente, las curvas de fundido durante un tiempo determinado y a varias temperaturas proporcionan mayor información que las pruebas de extensión de fundido a temperaturas y tiempos fijos y tiene la utilidad de saber como funde el queso en condiciones utilizadas en la práctica industrial.

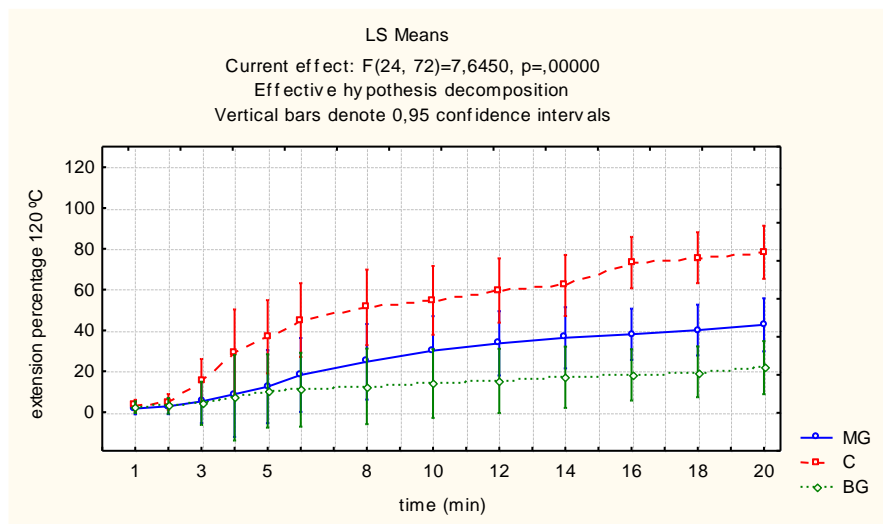


---

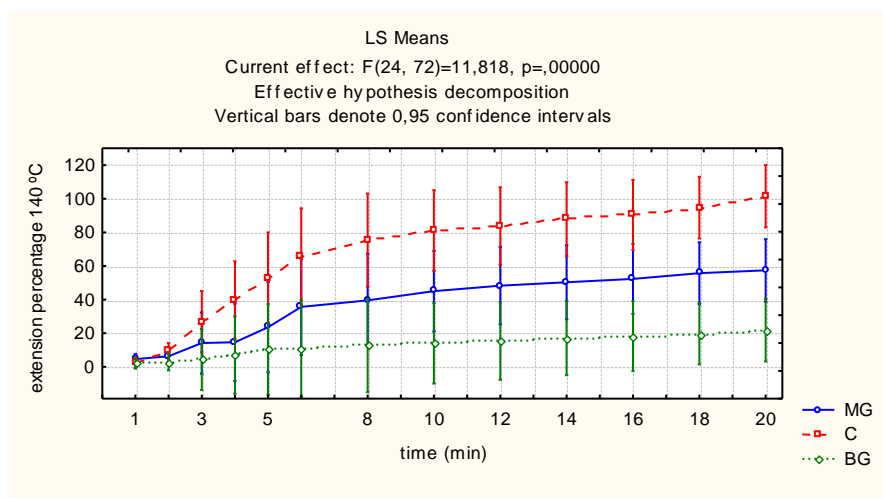
---

El hábito o perfil de las curvas de extensión del queso Oaxaca durante el fundido presenta características similares al de las curvas obtenidas por los autores anteriormente mencionados (Wang y Sun, 2003) para el queso Mozzarella. Estos autores encontraron por una parte que la mayor velocidad de fundido tuvo lugar en los primeros minutos de calentamiento – un calentamiento prolongado de más de 10min provocó una ligera disminución en el área del queso por pérdida de agua y, eventualmente, grasa. Por otra parte, encontraron que la velocidad de fundido del queso Mozzarella incrementó significativamente cuando la temperatura subió de 100 a 160°C. A temperaturas mayores a 160°C el impacto de la temperatura en la velocidad de fundido no fue significativo ( $P > 0.05$ ). El contenido en grasa del queso y la humedad retenida por la matriz proteica parecen ser dos claros factores que afectan positivamente a la velocidad de fundido (Wang y Sun, 2002).

I)



II)



III)

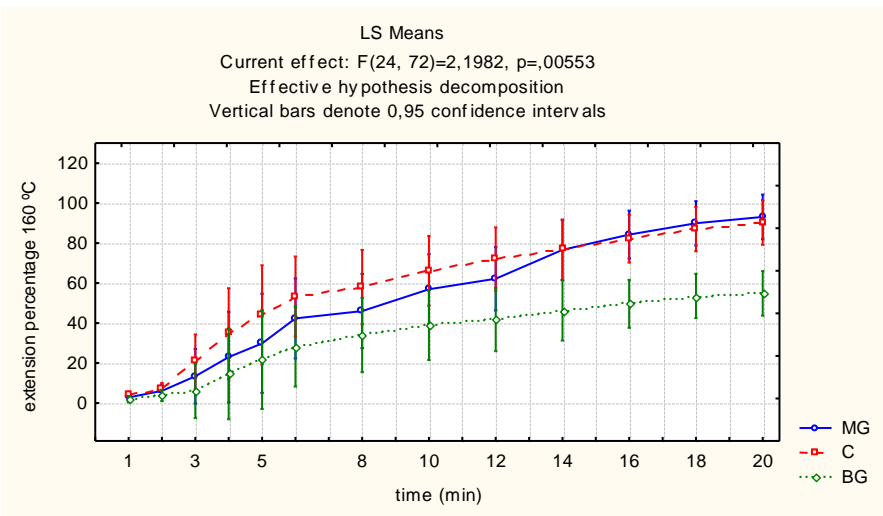
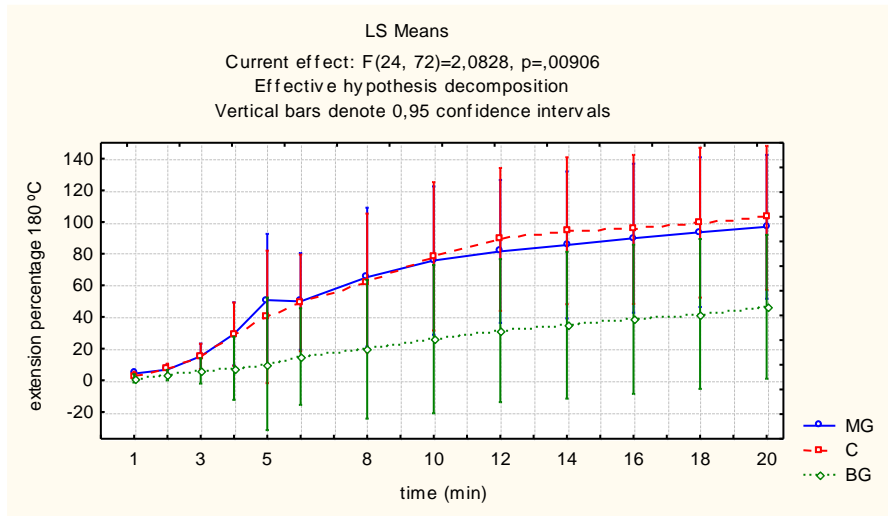


Figura 5. Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa (C, 3.5%; MG, 2.8%; BG, 1.8%) y un 9% de sólidos no grasos; I, 120°C; II, 140°C; III, 160°C; continúa.

IV)



V)

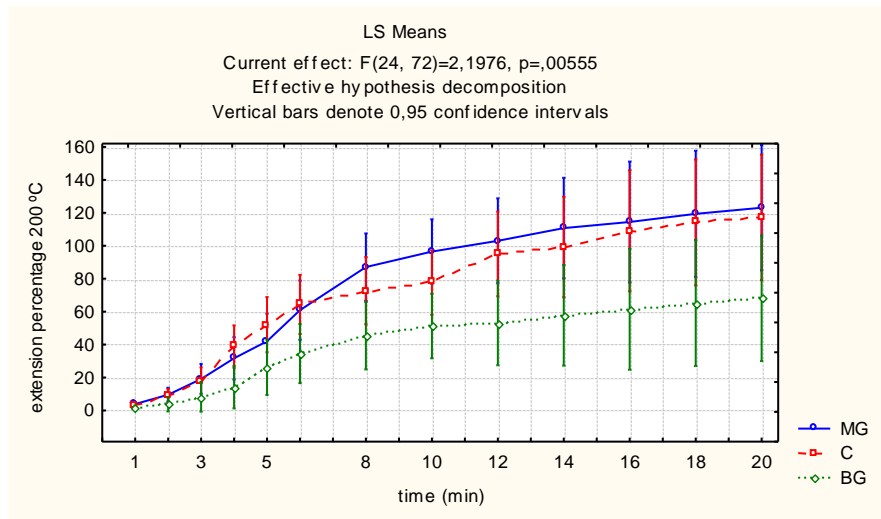
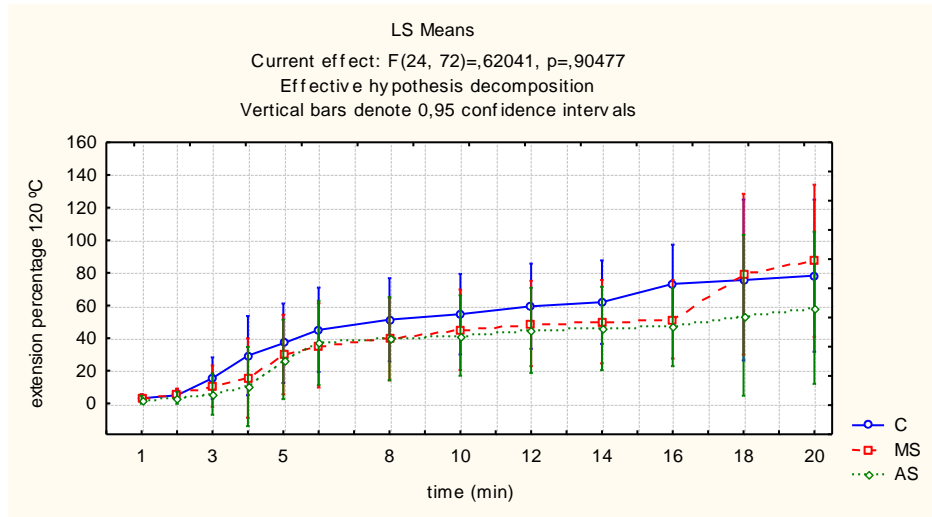
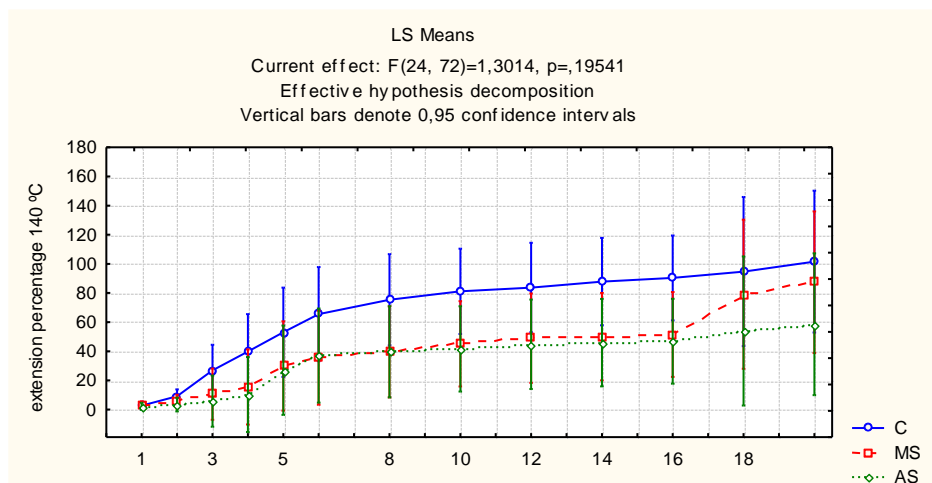


Figura 5.1.Continuación. Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles grasa (C, 3.5%; MG, 2.8%; BG, 1,8%) y un 9% de sólidos no grasos; IV, 180°C; V, 200°C.

I)



II)



III)

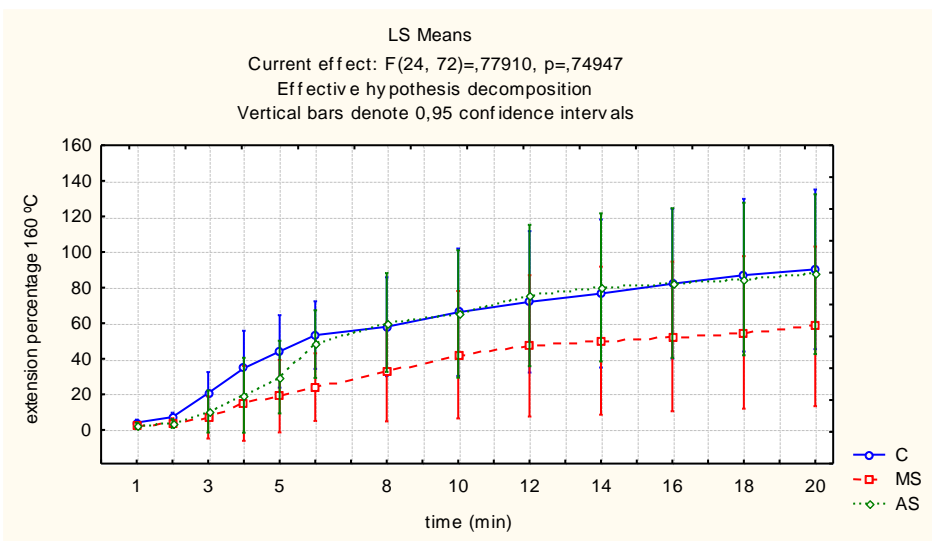
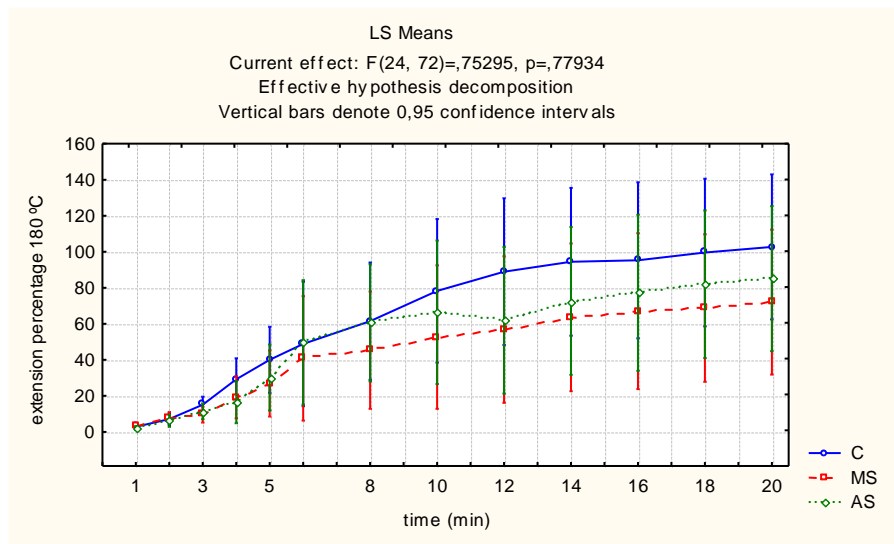


Figura 6. Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles sólidos no grasos (C, 9%; MS, 10%; AS, 11%) y un 3.5% de grasa; I, 120°C; II, 140°C; III, 160°C; continúa.

IV)



V)

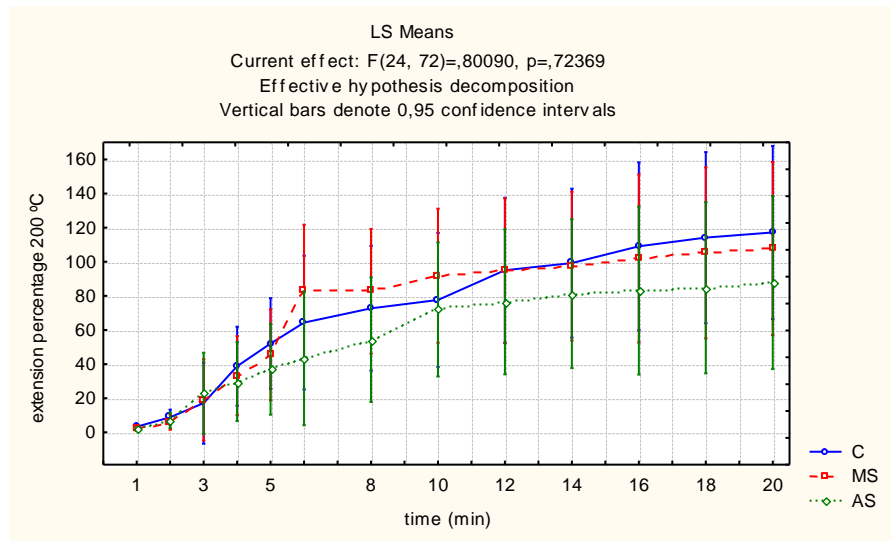


Figura 6.1. Continuación. Cinética de la extensión del fundido a distintas temperaturas del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles sólidos no grasos (C, 9%; MS, 10%; AS, 11%) y un 3.5% de grasa; IV, 180°C; V, 200°C.

En el Cuadro 21 se muestran los resultados del análisis sensorial del queso Oaxaca fundido elaborado con leche con distintos niveles de grasa. El queso control (con más cantidad de grasa) presentó una mayor liberación de grasa en superficie, un menor estirado, mayor presencia de grumos y menor grado de satisfacción. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el queso elaborado con leche descremada con 1.8% y el queso control (elaborado con leche con un 3.5% de grasa).

Los resultados del análisis sensorial de los quesos Oaxaca fundidos elaborados con leche con distintos niveles de sólidos se muestran en el Cuadro 22. El queso control fue el peor valorado (más grumos y liberación de grasa, menos estirado) pero las diferencias no fueron significativas entre tratamientos.

Cuadro 21. Resultados del análisis sensorial del queso Oaxaca fundido elaborado con leche con distintos niveles de grasa y un 9% de sólidos no grasos.

Nivel de grasa de la leche (%)	1.8 (n=3)	2.8 (n=3)	3.5 (n=3)
Jueces (n=8)			
% de grasa en superficie <sup>#</sup>	39.9 ± 7.6 <sup>b</sup>	49.6 ± 6.5 <sup>ab</sup>	58.4 ± 2.4 <sup>a</sup>
Longitud (mm) de estirado <sup>@</sup>	102.8 ± 26.7 <sup>a</sup>	67.2 ± 31.2 <sup>ab</sup>	31.9 ± 8.3 <sup>b</sup>
Presencia de grumos <sup>&amp;</sup>	0.4 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.8 ± 0.6 <sup>ab</sup>	1.4 ± 0.2 <sup>a</sup>
Grado de satisfacción subjetivo <sup>o</sup>	6.9 ± 1.0 <sup>a</sup>	5.7 ± 1.2 <sup>ab</sup>	3.4 ± 0.6 <sup>b</sup>

<sup>#</sup> Estimación de la extensión de la superficie de la muestra de queso fundido que estuvo cubierta por grasa liberada, expresada en porcentaje sobre la superficie total.

<sup>@</sup> Medida de la longitud de la hebra del queso fundido al estirar con tenedor.

<sup>&</sup> Estimación de la presencia de grumos en la hebra del queso al estirar: 0, ninguno; 1, pocos; 2, muchos.

<sup>o</sup> Valoración general subjetiva (de 1 a 9) de la apariencia del queso fundido al romper una quesadilla, teniendo en cuenta el color, el brillo, las dimensiones de la hebra, la presencia de grumos, la exudación de grasa, etc.

<sup>ab</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) mediante la prueba de Tukey.

En el Cuadro 23 se recogen las correlaciones entre el grado de satisfacción obtenido del análisis sensorial y el resto de atributos valorados. En el caso de los quesos elaborados con leche con distintos niveles de grasa, los tres atributos estudiados estuvieron correlacionados significativamente ( $P < 0.05$ ) con el grado de aceptación; el que mayor coeficiente mostró fue la longitud de estirado, seguido por la presencia de grumos y luego la liberación de grasa. En el caso de los quesos elaborados con leche con distintos niveles de sólidos el único atributo significativamente correlacionado con el grado de satisfacción fue la presencia de grumos.

Cuadro 22. Resultados del análisis sensorial del queso Oaxaca fundido elaborado con leche con distintos niveles de sólidos no grasos y un 3.5% de grasa.

Nivel de sólidos no grasos de la leche (%)	9.0 (n=3)	10.0 (n=3)	11.0 (n=3)
Jueces (n=8)			
% de grasa en superficie <sup>#</sup>	58.4 ± 2.4 <sup>a</sup>	49.8 ± 3.7 <sup>a</sup>	49.6 ± 15.8 <sup>a</sup>
Longitud (mm) de estirado <sup>@</sup>	31.9 ± 8.3 <sup>a</sup>	55.2 ± 11.9 <sup>a</sup>	62.0 ± 23.4 <sup>a</sup>
Presencia de grumos <sup>&amp;</sup>	1.4 ± 0.2 <sup>a</sup>	1.0 ± 0.5 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.1 <sup>a</sup>
Grado de satisfacción <sup>o</sup>	3.4 ± 0.6 <sup>a</sup>	4.6 ± 1.4 <sup>a</sup>	4.8 ± 0.4 <sup>a</sup>

<sup>#</sup> Estimación de la extensión de la superficie de la muestra de queso fundido que estuvo cubierta por grasa liberada, expresada en porcentaje sobre la superficie total.

<sup>@</sup> Medida de la longitud de la hebra del queso fundido al estirar con tenedor.

<sup>&</sup> Estimación de la presencia de grumos en la hebra del queso al estirar: 0, ninguno; 1, pocos; 2, muchos.

<sup>o</sup> Valoración general subjetiva (de 1 a 9) de la apariencia del queso fundido al romper una quesadilla, teniendo en cuenta el color, el brillo, las dimensiones de la hebra, la presencia de grumos, la exudación de grasa, etc.

<sup>ab</sup> Medias de la misma fila sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) mediante la prueba de Tukey.

Cuadro 23. Correlación entre el grado de satisfacción subjetiva valoración de quesadilla y las otras pruebas sensoriales realizadas en el queso Oaxaca fundido elaborado con leche con distintos niveles de materia grasa y sólidos no grasos.

	% de grasa en superficie <sup>#</sup>	Longitud (mm) de estirado <sup>@</sup>	Presencia de grumos <sup>&amp;</sup>
Grado de satisfacción <sup>o</sup> con distintos niveles de materia grasa <sup>α</sup>	-0,84*	0,94*	-0,90*
Grado de satisfacción <sup>o</sup> con distintos niveles de sólidos no grasos <sup>β</sup>	-0,14	0,37	-0,88*

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

<sup>#</sup> Estimación de la extensión de la superficie de la muestra de queso fundido que estuvo cubierta por grasa liberada, expresada en porcentaje sobre la superficie total.

<sup>@</sup> Medida de la longitud de la hebra del queso fundido al estirar con tenedor.

<sup>&</sup> Estimación de la presencia de grumos en la hebra del queso al estirar: 0, ninguno; 1, pocos; 2, muchos.

<sup>o</sup> Valoración general subjetiva (de 1 a 9) de la apariencia del queso fundido al romper una quesadilla, teniendo en cuenta el color, el brillo, las dimensiones de la hebra, la presencia de grumos, la exudación de grasa, etc.

<sup>α</sup> Niveles de materia grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y un 9% de sólidos no grasos

<sup>β</sup> Niveles de sólidos no grasos (9.0, 10.0 y 11.0%) y un 3.5% de materia grasa

El coeficiente de correlación lineal entre la estimación sensorial del porcentaje de grasa liberada en la superficie y las pruebas empíricas de pérdida de grasa del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de materia grasa y sólidos

no grasos se presenta en el Cuadro 24, respectivamente. En el primer caso el test de Gerber presentó una correlación significativa con el análisis sensorial ( $P < 0.05$ ). En el caso de los quesos elaborados con distintos niveles de sólidos no grasos no hubo correlación significativa entre las pruebas empíricas y la prueba sensorial.

Cuadro 24. Coeficientes de correlación lineal entre la estimación sensorial del % de grasa liberada en la superficie y las pruebas empíricas de pérdida de grasa del queso Oaxaca fundido elaborado con distintos niveles de materia grasa y sólidos no grasos.

	GLSc	GLGe
% de grasa liberada en superficie con distintos niveles de grasa <sup>α</sup>	0,52	0,81*
% de grasa liberada en superficie con distintos niveles de sólidos no grasos <sup>β</sup>	-0,12	0,44

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

GLSc: % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Richoux et al., 2001).

GLGe: % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrifuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).

<sup>α</sup> Niveles de materia grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y un 9% de sólidos no grasos

<sup>β</sup> Niveles de sólidos no grasos (9.0, 10.0 y 11.0%) y un 3.5% de materia grasa.

Los coeficientes de correlación lineal entre la longitud de estirado con tenedor y las pruebas empíricas de extensión, tiempo de fundido y de extrusión del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y de sólidos no grasos, se presentan en el Cuadro 25. Como podemos observar la extensión está negativamente (en la mayoría de los casos significativamente,  $P < 0.05$ ) con las pruebas de extensión. La correlación longitud de estirado con el tiempo de fundido solo fue apreciable en los quesos elaborados con leche con distintos niveles de grasa. Las pruebas de extrusión se correlacionaron positivamente con la longitud de estirado pero esta correlación solo fue significativa en el caso de los quesos elaborados con leche con distintos niveles de grasa (Cuadro 25).



Cuadro 25. Coeficientes de correlación lineal entre la longitud de estirado con tenedor y las pruebas empíricas de extensión y tiempo de fundido y extrusión del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y sólidos no grasos.

	Esc	Escm	DATu	TFun	F <sub>max</sub> E	EsfE	PendE	AdhE
Longitud de estirado con distintos niveles de materia grasa <sup>α</sup>	-0,87*	-0,62	-0,74*	0,79*	0,79*	0,75*	0,82*	0,85*
Longitud de estirado con distintos niveles de sólidos no grasos <sup>β</sup>	-0,73*	-0,88*	-0,58	0,08	0,53	0,35	0,21	0,52

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

Esc: % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3min (Richoux et al., 2001).

Escm: % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280°C durante 4min (Guinee et al., 2000).

DATu: Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante 6min (Hennelly, 2005).

TFun: Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C (Guinee et al., 2000).

F<sub>max</sub>E: valor de fuerza máxima (g); EsfE: valor de esfuerzo (g s); PendE: valor de la pendiente de inicio de la extrusión hasta alcanzar la fuerza máxima (g/s); AdhE: valor de adhesividad (g s); en ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C.

<sup>α</sup> Niveles de materia grasa (1.8, 2.8 y 3.5%) y un 9% de sólidos no grasos

<sup>β</sup> Niveles de sólidos no grasos (9.0, 10.0 y 11.0%) y un 3.5% de materia grasa

El coeficiente de correlación lineal entre la presencia de grumos y el grado de satisfacción con las pruebas empíricas de liberación de grasa, extensión, tiempo de fundido y extrusión del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de materia grasa y de sólidos no grasos se muestran en el Cuadro 26, respectivamente. Se puede observar como la presencia de grumos estuvo correlacionada positivamente con las pruebas de liberación de grasa y extensión (la correlación fue significativa,  $P < 0.05$ , para la liberación de grasa por el método de Gerber y para el test de Schreiber). Por el contrario la presencia de grumos estuvo negativamente correlacionada con los parámetros de la prueba de extrusión y con el tiempo de fundido (aunque en este último caso la correlación no fue significativa).

Por otra parte, el grado de satisfacción se correlacionó negativamente con las pruebas de liberación de grasa y de extensión y positivamente con el tiempo de

fundido y las pruebas de extrusión. Las correlaciones fueron especialmente elevadas en el caso de la liberación de grasa por el método de Gerber y el test de Schreiber.

Cuadro 26. Coeficientes de correlación lineal entre la presencia de grumos, el grado de satisfacción, las pruebas empíricas de liberación de grasa, extensión, tiempo de fundido y extrusión del queso Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de grasa y sólidos no grasos.

	GLSc	GLGe	ESc	EScm	Datu	TFun	F <sub>max</sub> E	EsfE	PendE	AdhE
Niveles de materia grasa (1.8, 2.8 y 3.5%)										
Presencia de grumos <sup>&amp;</sup>	0,55	0,82*	0,77*	0,48	0,54	-0,61	-0,71*	-0,74*	-0,76*	-0,78*
Grado de satisfacción <sup>°</sup>	-0,70*	-0,86*	-0,89*	-0,61	-0,79*	0,78*	0,67	0,68*	0,74*	0,78*
Niveles de sólidos no grasos (9,10 y11%)										
Presencia de grumos <sup>&amp;</sup>	0,37	0,36	0,49	0,45	0,50	-0,07	-0,28	-0,34	-0,38	-0,71*
Grado de satisfacción <sup>°</sup>	0,49	-0,39	-0,66	-0,54	-0,73	0,20	0,42	0,48	0,44	0,83

\* Coeficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

<sup>&</sup> Estimación de la presencia de grumos en la hebra del queso al estirar: 0, ninguno; 1, pocos; 2, muchos.

<sup>°</sup> Valoración general subjetiva (de 1 a 9) de la apariencia del queso fundido al romper una quesadilla, teniendo en cuenta el color, el brillo, las dimensiones de la hebra, la presencia de grumos, la exudación de grasa, etc.

GLSc: % de extensión (respecto al área del queso sin fundir) de la mancha de grasa absorbida sobre papel de filtro generada por un disco queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 22°C durante 3min (Richoux et al., 2001).

GLGe: % de grasa liberada por un queso calentado en baño maría con agua hirviendo durante 4min después de una centrifugación a 60°C en centrífuga Gerber durante 5min y en presencia de una mezcla de agua/metanol (1/1; v/v) (Kindstedt, 1991).

ESc: % de extensión de un disco queso de 45mm de diámetro y 6 mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 225°C durante 3 min (Richoux et al., 2001).

EScm: % de extensión de un disco de queso de 45mm de diámetro y 6 mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 280 °C durante 4min (Guinee et al., 2000).

DATu: Distancia de avance de un cilindro de queso de 24mm de diámetro y 20mm de altura (aprox. 10g) colocado en el extremo de un tubo al fundir a 180°C durante 6min (Hennelly, 2005).

TFun: Tiempo necesario para el fundido aparente de queso un disco de queso de 45mm de diámetro y 6mm de altura (aprox. 11.5g) al ser calentado a 22°C (Guinee et al., 2000).

F<sub>max</sub>E: valor de fuerza máxima (g); EsfE: valor de esfuerzo (g s); PendE: valor de la pendiente de inicio de la extrusión hasta alcanzar la fuerza máxima (g/s); AdhE: valor de adhesividad (g s); en ensayo de extrusión inversa consistente en medir la fuerza y/o esfuerzo realizada por compresión y extensión de un cilindro de plástico macizo (de 5cm de altura y 4cm de diámetro) avanzando y retrocediendo 2cm sobre una masa de queso fundido de 8 cm altura contenida en un vaso de 4.5cm de diámetro a una temperatura de 70°C.

La correlación entre las pruebas sensoriales y los parámetros de composición con interés tecnológico en el queso Oaxaca elaborado con distintos niveles de materia grasa y de sólidos no grasos se muestran en el Cuadro 27, respectivamente. En relación a los quesos elaborados con leche con distintos niveles de grasa, la grasa sobre extracto seco o sobre grasa sobre sólidos no grasos fueron las variables de composición más correlacionadas con los análisis sensoriales. Esto mismo se apreció al hablar de las pruebas empíricas.

En el caso de los quesos elaborados con leche con distintos niveles de sólidos no grasos la mayoría de las correlaciones no fueron significativas y la grasa sobre extracto seco o sobre sólidos no grasos fueron las variables de composición que mayores coeficientes de correlación presentaron con los análisis sensoriales. La menor correlación se puede deber a la menor diferencia en la composición de los quesos debido a la adición de MPC que debido al descremado.

Cuadro 27. Correlación entre las pruebas sensoriales y los parámetros de composición proximal de interés tecnológico en el queso tipo Oaxaca elaborado con leche con distintos niveles de materia grasa y sólidos no grasos.

	CaSNG	LacaSNG	SNG	GraES	ProtES	Hum	Hum/SNG	Gra/SNG
Niveles de materia grasa (1.8, 2.8 y 3.5%)								
% de grasa en superficie <sup>#</sup>	-0,56	0,61	-0,48	0,76*	-0,73*	-0,38	0,18	0,83*
Longitud (mm) de estirado <sup>@</sup>	0,67*	-0,53	0,88*	-0,85*	0,74*	-0,02	-0,64	-0,83*
Presencia de grumos <sup>&amp;</sup>	-0,44	0,61	-0,71*	0,75*	-0,57	-0,07	0,46	0,78*
Grado de satisfacción <sup>°</sup>	0,74*	-0,75*	0,85*	-0,82*	0,72*	-0,03	-0,64	-0,86*
Niveles de sólidos no grasos (9, 10 y 11%)								
% de grasa en superficie <sup>#</sup>	-0,14	0,19	0,06	0,23	-0,43	-0,42	-0,25	0,30
Longitud (mm) de estirado <sup>@</sup>	0,67*	-0,37	0,62	-0,75*	0,59	0,12	-0,37	-0,56
Presencia de grumos <sup>&amp;</sup>	-0,07	0,34	-0,52	0,38	-0,39	0,26	0,49	0,43
Grado de satisfacción <sup>°</sup>	0,29	-0,58	0,76*	-0,65	0,63	-0,26	-0,66	-0,73*

Coefficiente de correlación asociado a una  $P < 0.05$ .

<sup>#</sup> Estimación de la extensión de la superficie de la muestra de queso fundido que estuvo cubierta por grasa liberada, expresada en porcentaje sobre la superficie total.

<sup>@</sup> Medida de la longitud de la hebra del queso fundido al estirar con tenedor.

<sup>&</sup> Estimación de la presencia de grumos en la hebra del queso al estirar: 0, ninguno; 1, pocos; 2, muchos.

<sup>°</sup> Valoración general subjetiva (de 1 a 9) de la apariencia del queso fundido al romper una quesadilla, teniendo en cuenta el color, el brillo, las dimensiones de la hebra, la presencia de grumos, la exudación de grasa, etc.

LacaSNG: % de lactosa sobre materia seca desengrasada

CaSNG: mg de Ca por 100g de materia seca desengrasada

PSNG: mg de P por 100g de materia seca desengrasada

SNG: sólidos no grasos

GraES: % de grasa sobre extracto seco

ProtES: % de proteína sobre extracto seco

Hum: % de humedad

Hum/SNG

Gra/SNG: % de grasa entre el % de sólidos no grasos.

---

---

## 7 CONCLUSIONES

### **Efecto del descremado de la leche sobre las características del fundido del queso Oaxaca.**

1-El descremado de la leche puede presentar efectos considerados como negativos sobre la calidad del queso: menos velocidad de fundido y menor extensión final, pero también, efectos considerados como positivos como la menor liberación de grasa al fundir, además de la mayor facilidad para el deshebrado del queso (debido a su mayor firmeza, tal como fue observado en una tesis previa).

2-De acuerdo a la apreciación sensorial de las características del fundido, el descremado de la leche para hacer queso, en los rangos estudiados, mejora la valoración subjetiva del queso fundido en quesadilla e implica un mayor estirado de las hebras, una menor formación de grumos y menos liberación de grasa. Las pruebas empíricas mejor correlacionadas con el análisis sensorial fueron las siguientes:

- ✓ La grasa liberada por el método Gerber, con la grasa liberada en el análisis sensorial.
- ✓ El test de Schreiber y la adhesividad en la extrusión con la longitud de estirado.
- ✓ La grasa liberada por el método Gerber, la adhesividad y el test de Schreiber con la presencia de grumos.
- ✓ El test de Schreiber y la grasa liberada por el método Gerber con la aceptación general.

3-Las diferencias en las pruebas empíricas y en el análisis sensorial entre tratamientos se deben principalmente a la variación en el contenido en grasa sobre extracto seco y de Ca y P sobre sólidos no grasos.

---

---

4-La mayor velocidad de extensión del queso Oaxaca durante el fundido a temperaturas entre 120 y 200°C se produce en los primeros 10min. Los quesos elaborados con leche entera fueron los que mayor velocidad de extensión mostraron durante el fundido a las temperaturas comprendidas entre 120 a 160°C y 180 a 200°C. Los quesos con menos contenido en grasa sobre extracto seco (los elaborados con leche descremada) necesitan mayor temperatura para fundirse y extenderse que los elaborados con leche entera.

#### **Efecto de la adición de (MPC) sobre las características del fundido del queso Oaxaca.**

5-La adición de MPC no implica un mayor contenido en lactosa o galactosa del queso Oaxaca. Esta baja cantidad de azúcares junto con la escasa proteólisis que parece tener lugar en el queso Oaxaca serían los causantes de la baja intensidad del pardeamiento que tienen los quesos durante el calentamiento (fundido).

6-De acuerdo a los resultados de las pruebas empíricas del fundido la adición de MPC a la leche para hacer queso Oaxaca implica que los quesos se extiendan menos al fundir y fundan más tarde, presenten una masa fundida con una extrusión más difícil y pierdan menor cantidad de grasa: No obstante, el efecto de la adición del MPC es más moderado y menos evidente que el efecto que tuvo el descremado. Dicho efecto puede atribuirse principalmente a la disminución en la cantidad de grasa sobre extracto seco del queso asociada a la adición de MPC a la leche.

7-En relación al análisis sensorial de las características del fundido no se llegaron a observar diferencias significativas entre tratamientos aunque el queso control, sin adición de MPC, presentó las características menos favorables.

---

---

8-Al agregar MPC a la leche se observa una tendencia hacia la disminución del contenido en grasa sobre extracto seco y al aumento de Ca y P sobre sólidos no grasos en el queso. Se considera que ambos factores serían los más relacionados con los resultados de las pruebas empíricas y el análisis sensorial.

---

---

## 8 BIBLIOGRAFIA

- Anón. Anonimo (1999). Improving Mozzarella Manufacture and Quality - Part II Ingredient technologies for enhancing the quality of mozzarella cheese Innovations in Dairy. March. Dairy Management Inc.
- Anzaldúa, M. A., (1994). "Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica". Ed. Acribia- Zaragoza.
- AOAC. (1999). Official Method 986.09 Nutrients (Minor) in Fertilizers. Atomic Absorption Spectrophotometric Method. Chapter 2: Fertilizers. Vol. I. Official Methods of Analysis of AOAC international. 16th Edition, 5th Revision (Ed. P. Cunniff). Gaithersburg, Maryland.
- Apostolopoulos, C. (1993). Sample empirical and fundamental methods to determine objectively the stretchability of Mozzarella chesse. Journal Dairy Research 61 405-413.
- Banks, J.M. (2004).The technology of low-fat cheese manufacture.International Journal of Dairy Technology 57 199-207.
- Bourne C. M. (1973). Texture measurement of individual cooked dry beans by the puncture test, Journal of Food Science 37 751-753.
- Bruna, J.M., Hierro, E.M., De La Hoz, L., Mottram, D.S., Fernández, M. y Ordoñez, J.A. (2003). Changes in selected biochemical and sensory parameters as affected by the superficial inoculation of *Penicillium camemberti* on dry fermented sausages. International Journal of Food Microbiology 85 111-125.
- Carmona, M.C. (2006)."Calculo del rendimiento del queso tipo Oaxaca, determinando la relación óptima de materia grasa y sólidos no grasos".Tesis de licenciatura, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Caro C.I., Mateo O. J. y Franco F. J. (1999). Quesos de pasta filata: Tecnología del queso Mozzarella II. Características reológicas y/o propiedades funcionales del queso Mozzarella. Alimentaria 303 159-163.
- Comisión Estatal de la Leche (CEL) del Estado de Hidalgo, comunicación personal (2006).

- 
- 
- Eck, A. (1990). El queso. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Emmons, D.B. (1993). In Factors Affecting the Yield of Cheese, Special Issue 9301, International Dairy Federation, Brussels 10-20.
- FAOSTAT (2006). Producción de leche y productos lácteos, accesible *on line* [www.fao.org](http://www.fao.org).
- FAO (1999). Producción de Leche y consumo mundial.
- FAO (2006). Producción mundial de leche de bovinos.
- Fenema, O.R. (2000). Química de los alimentos. Segunda edición. Acribia.S.A. Zaragoza, España. 1024-1026.
- Fife, R.L., McMahon, D.J. y Oberg, C.J. (2006). Functionality of Low Fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 79 1903-1910.
- Fox, P. F. y McSweeney, P. L. H. (1996). Proteolysis in Cheese During Ripening. *Food Reviews International* 12 457–509.
- Fox, P.F., y McSweeney, P. L. H. (2003). *Advanced Dairy Chemistry Proteins*. Plenum Publishers. 1:1110-1129.
- Fox, P.F., Guinee, T.P. Cogan, T.M. y Mc Sweeney, P.L.H., (2000) *Fundamental of Cheese Science*. Aspec Publishers. Inc. Caithersburg Maryland, 1-333.
- García, I.G., (2006). “Caracterización Físico-química de diversos tipos de quesos elaborados en el valle de Tulancingo Hgo. con el fin de proponer normas de calidad”. Tesis de licenciatura, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Guinee, T.P., Harrington, D., Corcoran, M.O., Mulholland, E.O. y Mullins, C. (2000). The compositional and functional properties of commercial mozzarella, cheddar and analogue pizza cheeses. *International Journal of Dairy Technology* 53 51-56.
- Guinee T. P., O’Kennedy B. T. y Kelly P. M., (2006). Effect of Milk Protein Standardization Using Different Methods on the Composition and Yields of Cheddar Cheese, *Journal of Dairy Science* 89 468–482.
- Guo, M. R. y Kindstedt, P. S. (1995). Age-related changes in the water phase of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 78 2099–2107.



- 
- 
- Hennily, P.J., Dunne, P.G., O'Sullivan, M. y O'Riordan, E.D. (2005). Increasing the moisture content of imitation cheese: effects on texture, Rheology and microstructure. *European Food Research and Technology* 220 415-420.
- Hennelly, P.G. (2006) Texture, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Engineering* 75 388-395.
- Imm, J. Y., Oh E. J., Han, K. S., Oh, S., Park Y. W., y Kim, S. H. Kim. (2003). Functionality and Physico-Chemical Characteristics of Bovine and Caprine Mozzarella Cheeses During Refrigerated Storage. *Journal of Dairy Science* 86 2790-2798.
- Joshi, N.S., Muthukumarappan, K. y Dave, R.I. (2004). Effect of Calcium on Microstructure and Meltability of Part Skim Mozzarella Cheese. *Journal of Dairy Science* 87 1975–1985.
- Kameswaran S. y Smith D. E., (1999). Rennet clotting times of skim milk based rennet gels supplemented with an ultrafiltered milk protein concentrate, *Milchwissenschaft* 54 546–550.
- Kindstedt P.S. (1993). Effect of manufacturing factors, composition and proteolysis on the functional characteristics of Mozzarella cheese, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 33 167–187.
- Kindstedt, P. S. (2004). Mozzarella cheese: 40 years of scientific advancement. *International Journal of Dairy Technology* 57 85-90.
- Kindstedt, P.S. y Fox, P. F. (1991). Modified Gerber Test for Free Oil in Melted Mozzarella Cheese. *Journal of Food Science* 56 1115-1116.
- Lucey, J. A. y Fox, P. F. (1993): Importance of Calcium and phosphate in cheese manufacture. *Journal of Dairy Science* 76 1714-1724
- Madrid, V. A. (1999). *Tecnología quesera*, 2<sup>da</sup> edición. Editorial AMV, Ediciones Mundi-Prensa, España. p. 9.
- Maubois, J.L. y Mocquot, G. (1971). L'Appréhension des Rendements in Fromagerie. *Le Lait*, 507 417-430.
- McMahon, D.J., Oberg, C.J. y McManus. W. (1993). Functionality of Mozzarella cheese. *The Australian Journal of Dairy Technology* 48 99-104.

- 
- 
- Mistry, V.V., (2001). Low fat cheese technology. *International Dairy Journal* 11 413–422.
- Monroy, G.K. (2007). "Propiedades funcionales de los principales quesos elaborados en el valle de Tulancingo, Hgo". Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Basicas e Ingenieria. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- NOM-121-SSA1 Norma Oficial Mexicana (1994). Bienes y Servicios. Quesos: Frescos, Madurados y procesados. Especificaciones Sanitarias.
- Olson, N. F. (1982). Salt affects cheese characteristics. *Dairy Field*. March: 72–73.
- Pastorino, A.J., Hansen, C.L. y McMahon, D.J. (2003). Effect of pH on the Chemical Composition and Structure-function Relationships of Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Science* 86 2751-2760.
- Pérez V., J. C. (1999). Manual de control de calidad de los productos lácteos y tecnologías de fabricación de quesos: Tesis de licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. p. 213-214.
- Prentice, J.H., Langley, K.R. y Marshall, R.J. (1993). Cheese Rheology. En "Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology", Vol.1. P. F. Fox (ed.) Chapman y Hall, London, pp 303-321.
- Retiveau, A., Chambers, D.H. y Esteve, E. (2005). Developing a lexicon for the flavor description of French cheeses. *Food Quality and Preference* 16 517–527.
- Richoux, R. Roset, G., Famelart, M.H. y Kerjean, J.R. (2001) Diversité de quelques propriétés fonctionnelles á chaud de l'Emmental francais. INRA, EDP 81 547-559.
- Rudan, M. A., Barbano, D. M., Guo, M. R., & Kindstedt, P. S. (1998). Effect of modification of fat particle size by homogenization on composition, proteolysis, functionality, and appearance of reduced fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 81 2065–2076.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadera, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2003). Relación de industrias de la leche del Valle de Tulancingo a través de la Comisión Estatal de la Leche.

- 
- 
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadera, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2005). La producción de leche de bovino en México.
- Scott, R (1991). Fabricación de Queso. Acriba. Zaragoza. España. p. 35.
- Sheehan, J.J. y Guinee, T.P., (2004). Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and funcional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *International Dairy Journal* 14 161–172.
- Sheehan, J.J., Huppertz, T., Hayes, M.G., Kelly, A.L., Beresford, T.P. y Guinee, T.P., (2005). High pressure treatment of reduced-fat Mozzarella cheese: Effects on functional and rheological properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6 73– 81.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2006). Producción nacional de leche de acuerdo a las principales entidades federativas. [www.siap.gop.mx](http://www.siap.gop.mx).
- Sousa, M.J., Ard, Y. y McSweeney, P.L.H. (2001). Advances in the Study of Proteolysis During cheese Ripening. *International Dairy Journal* 11 327–345.
- Sundar, R. y Upadhyay, K.G (1990). Effects of standardization of buffalo milk for casein/fat ratio on Mozzarella cheese composition and cheese making efficiency. *Indian Journal of Dairy Science* 43 588-597.
- Tunick, M. H., Mackey, K. L., Smith, P. W., y Holsinger, V. H. (1991). Effects of composition and storage on the texture of Mozzarella cheese. *Neth. Milk Dairy Journal* 45 117-125.
- Tunick, M.H., Malin, E. L., Smith, P. W., Shieh, J. J., Sullivan, B. C. y Mackey, K. L.(1993). Proteolysis and rheology of low fat and full fat Mozzarella cheeses prepared from homogenized milk. *Journal of Dairy Science* 76, 3621–3628.
- USDA (1980). United State Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18. Agricultural Research Service. Nutrient Data Laboratory.
- Van der Berg, M.G. (1993). The Transformation of Casein in Milk Into the Paracasein Structure of Cheese and its Relation to Non-Casein Milk Components. En *Cheese Yield and Factors Affecting its Control*. Proceedings of the International Dairy Federation Seminar in Cork, Ireland, IDF. Bruselas. Bélgica.

- 
- 
- Van Riel, J.A.M. y Olieman, C. (1986). High performance Liquid Chromatography of Sugars on a Mixed Cation-Exchange Resin Column. *Journal of Chromatography A* 362 235-242.
- Wang, H.H. y Sun, D.W. (2001). Melting Characteristics of cheese: analysis of effects of cooking conditions using computer vision technology. *Journal of Food Engineering* 51 305-310.
- Yun, J. J., Barbano, D. M., Kiely, L. J. y Kinstedt, P. S. (1995). Mozzarella cheese: Impact of rod to coccus ratio on chemical composition, proteolysis and functional characteristics. *Journal of Dairy Science* 78:751–760.
- Zisu, B. y Shah, N.P. (2005). Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheeses in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, preacidification and EPS starter. *International Dairy Journal* 15 957–972.

---

---

## 9 ANEXOS

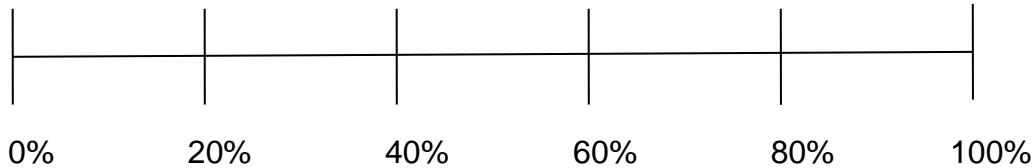
9.1 Anexo I. Ficha de cata utilizada

NOMBRE \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

Ante usted se encuentra una muestra codificada de queso Oaxaca fundido.

En primer lugar valore la cantidad de grasa liberada en la superficie. Para ello estime el % de superficie cubierto por exudado de grasa.

1.- Valore el porcentaje de grasa liberada en la superficie marcando con una raya dentro de la siguiente escala donde crea oportuno.



En segundo lugar valore la capacidad de extensión del queso fundido. Para ello tome un tenedor e introdúzcalo en el queso hasta la marca establecida, después jale del tenedor hacia arriba y estime la altura de la hebra con ayuda de la regla y anote el valor observado.

2.- Anote la altura aproximada de la hebra.

Código \_\_\_\_\_ altura de hebra en cm \_\_\_\_\_

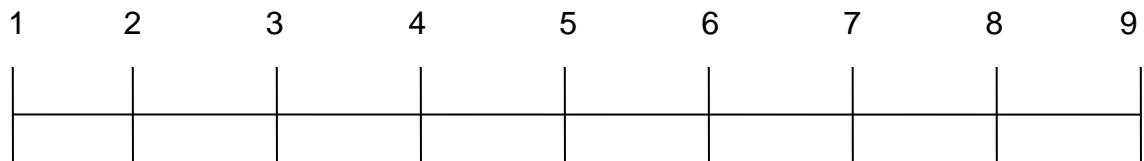
En tercer lugar observe la hebra e indique la presencia de grumos, si no tiene grumos ponga nada, si tiene grumos ponga pocos o muchos según le parezca.

3.- Anote la presencia de grumos según lo siguiente:

Nada \_\_\_\_\_                  Pocos \_\_\_\_\_                  Muchos \_\_\_\_\_

Finalmente, haga una quesadilla con el queso, rompa la quesadilla a la mitad y observe el queso y evalúe su aceptabilidad, valorando del 1 al 9 el grado de satisfacción que como consumidor potencial le produce el queso en conjunto (teniendo en cuenta el color, el brillo, las dimensiones de la hebra, la presencia de grumos, la exudación de grasa, etc.).

4.- Aceptabilidad global al romper la quesadilla.



No me gusta  
nada



Me gusta mucho

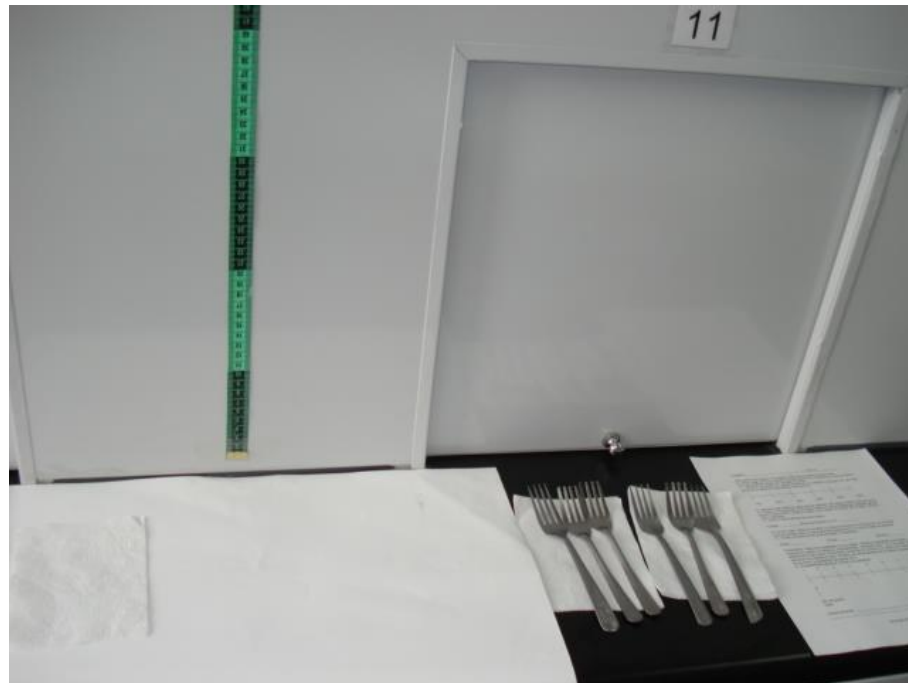
Observaciones: \_\_\_\_\_

Muchas gracias!!!

---

---

9.2. Anexo II. Figuras sobre la capacidad de extensión del queso fundido. A) preparación del material utilizado; b) Evaluación de grumos y c). Prueba de estirado a)



b)



---

c)

