



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

CARACTERIZACIÓN DEL FUNDIDO Y TEXTURA DE QUESO
OAXACA Y QUESO OAXACA DE IMITACIÓN COMERCIAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

JOSÉ FRANCISCO ACEVES SÁNCHEZ

ASESOR ACADÉMICO: DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES COLÍN CRUZ

ASESOR ADJUNTO: Q. JESÚS CASTILLÓN JARDÓN



TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2013.



Toluca, México, 9 de agosto de 2013

P. Q. en A. JOSÉ FRANCISCO ACEVES SÁNCHEZ
FACULTAD DE QUÍMICA, UAEM
P R E S E N T E

La Dirección de la Facultad de Química de la UAEM, comunica a Usted que el Jurado de su Evaluación Profesional, en la modalidad **TESIS**, estará formado por:

M. en C. FELIPE CUENCA MENDOZA
PRESIDENTE

Dra. MARÍA DE LOS ÁNGELES COLÍN CRUZ
VOCAL

Dr. OCTAVIO DUBLÁN GARCÍA
SECRETARIO

QUÍM. JESÚS CASTILLÓN JARDÓN
SUPLENTE

Sin más por el momento le envío un respetuoso saludo.

Four horizontal lines with handwritten signatures above them, corresponding to the names listed on the left.

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
"2013, 50 Aniversario Luctuoso del Poeta Heriberto Enriquez"

M. en A. P. GUADALUPE OFELIA SANTAMARÍA GONZÁLEZ
DIRECTORA



C.c.p. Expediente
c.c.p. Archivo.

AGRADECIMIENTOS

A mi aunque no lo crea, querida **Madre** (n_n),
por debatir mis decisiones cuando creía necesario
guiarme de regreso al rumbo correcto.

A mi **Padre**, por labrarme y dar forma a mis principios.

A mi **Tío Oscar** y a mi **Abuela**, por alentarme a
seguir adelante y brindarme techo y sustento
cuando más lo necesité.

A mis hermanos **Eric** y **Diego**, su desastre me relaja
y me dan ideas que mejoran la forma en la que
doy solución a mis problemas.

A mi estimada profesora **Maria de los Ángeles Colín**,
por darme su amistad, y la oportunidad de trabajar
en un proyecto tan grande.

Al profesor **Jesus Castellón**, por brindarme su
apoyo y confianza en la realización del presente trabajo.

Al profesor **Felipe Cuenca**, **Octavio Dublan**
y al **M. Daniel Arizmendi** por su apoyo moral
y profesional al presente documento.

A **Mago** y **Jorge**, por su apoyo y por enseñarme lo
que vale el dinero.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
I. MARCO TEÓRICO	1
1. 1. Queso	1
1. 1. 1. Queso Definición	1
1. 1. 2. Historia del queso.....	1
1. 1. 3. Etapas en la obtención de queso	2
1. 1. 4. Clasificación de los quesos	4
1. 1. 5. Queso Oaxaca	5
1. 1. 6. Queso Oaxaca de Imitación	5
1. 1. 6. 1. <i>Proceso de elaboración de queso Procesado de Imitación</i>	6
1. 1. 6. 2. <i>Proceso de elaboración de queso Mozzarella de Imitación</i>	6
1.2. Propiedades funcionales.....	7
1. 2. 1. Fundido.....	7
1. 2. 1. 1. <i>Efecto de la composición del queso sobre el fundido</i>	9
1. 2. 2. Textura.....	11
1. 2. 2. 1. <i>El Análisis de Perfil de Textura (TPA)</i>	12
1. 2. 2. 2. <i>La dureza</i>	13
1. 2. 2. 3. <i>La firmeza</i>	13
1. 2. 2. 4. <i>La adhesividad</i>	13
1. 2. 2. 5. <i>La cohesividad</i>	14
1. 2. 2. 6. <i>La elasticidad</i>	14
II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	16
2. 1. Hipótesis de investigación.....	16
2. 2. Objetivo general.....	16
2. 3. Objetivos específicos	16
III. MATERIAL Y MÉTODO.....	17
3. 1. Etapa 1. Elección y toma de muestra.....	17
3. 1. 1. Identificación de Marcas comerciales de queso Oaxaca	17

3. 1. 2. Preparación de la muestra para Textura, análisis Bromatológicos e Índice de fundido	17
3. 1. 2. 1. <i>Textura</i>	17
3. 1. 2. 2. <i>Índice de Fundido y bromatológicos</i>	18
3. 2. Etapa 2. Análisis de los quesos.....	18
3. 2. 1. Análisis Bromatológicos	18
3. 2. 2. Prueba de Fundido.....	18
3. 2. 3. Texture Profile Analysis.....	18
3. 3. Tratamiento estadístico de los resultados	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1. Características y composición de los quesos evaluados	20
4. 2. Composición química y capacidad de fundido.....	23
4. 2. 1. Efecto del contenido graso sobre el índice de fundido.....	24
4. 2. 2. Efecto de la humedad sobre el índice de fundido	25
4. 2. 3. Efecto de los componentes del queso sobre el índice de fundido.....	27
4. 2. 4. Pérdida de humedad durante el fundido en relación al nivel de grasa e índice de fundido.	28
4. 3. Análisis de perfil de Textura (TPA) de los quesos Oaxaca comerciales.	29
4. 4. Análisis Estadístico	34
V. CONCLUSIONES.....	36
VI. SUGERENCIAS	37
VII. REFERENCIAS	38
VIII. ANEXOS	40
8. 1. Análisis Bromatológicos	40
8. 1. 1. Determinación del contenido de humedad.....	40
8. 1. 2. Determinación del contenido graso en quesos.	41
8. 2. Estandarización y descripción de la Prueba de Fundido.	42
8. 3. Tabla de Resultados	43
8. 3. 1. Índice de Fundido.....	43
8. 3. 2. Resultados del análisis de perfil de textura.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Página
1. Muestra los distintos parámetros obtenidos a partir de una curva resultado de un TPA (Smewing, 2001).	12
2. Cumplimiento de la composición química de queso Oaxaca en función de la información declarada en la etiqueta, con respecto a las especificaciones de la norma NMX-F-733-COFOCALEC-2010.	20
3. Cumplimiento de la composición química de queso Oaxaca en función de la información declarada en la etiqueta, con respecto a los resultados de análisis de laboratorio.	21
4. Cumplimiento de la composición química de queso Oaxaca en función de los resultados de análisis de laboratorio, con respecto a las especificaciones de la norma NMX-F-733-COFOCALEC-2010.	22
5. Muestra el índice de fundido contra el contenido graso de las muestras estudiadas.	24
6. Muestra el índice de fundido contra la humedad en las muestras estudiadas.	25
7. Muestra la relación entre el Incremento del índice de fundido y el contenido graso, para cada valor de grasa en queso Oaxaca comercial.	26
8. Muestra los promedios para grasa, humedad e índice de fundido para cada grupo de quesos en función de sus componentes.	27
9. Pérdida de Humedad en queso Oaxaca comercial en función de la grasa (A) y en función del índice de fundido (B).	28
10. Muestra la firmeza, dureza, cohesividad y elasticidad de los quesos analizados clasificados por ingredientes.	30
11. Muestra la firmeza, dureza, cohesividad y elasticidad para el contenido graso, clasificado por contenido graso, y humedad, clasificado por humedad.	30
12. Muestra los distintos parámetros de textura contra el contenido graso (A) y la humedad en queso (B) ambos expresados como porcentaje en quesos control.	32
13. Comportamiento del fundido, firmeza y dureza, en función del contenido graso en queso control.	32

ÍNDICE DE CUADROS

No.	Página
1. Parámetros del TPA y cálculo.....	12
2. Configuración utilizada de los parámetros introducidos en el texturómetro para la realización de la prueba de textura.	18
3. Muestra la humedad, contenido graso e índice de fundido para cada uno de los niveles de clasificación empleados.	23
4. Composición química de quesos Oaxaca comerciales que pueden poseer fundidos óptimos.	26
5. Humedad, contenido graso y variables del TPA para cada uno de los intervalos de los quesos Oaxaca analizados.	29
6. Resultados del ANOVA de los factores considerados en queso Oaxaca comercial y las variables de respuesta estudiadas.....	34
7. Prueba de múltiples rangos de Waller – Duncan que muestra las medias de cada variable dependiente significativa para el factor Grasa.	34
8. Medias similares para las variables dependientes que resultaron significativas en el ANOVA elaborado por Ingredientes declaradas en las muestras.	35

RESUMEN

En alimentos, las propiedades funcionales se refieren a las características fisicoquímicas, sensoriales, microbiológicas, entre otras, relacionadas con la aplicación o uso de los alimentos. En los quesos de pasta hilada propiedades funcionales tienen una relación estrecha con la capacidad de formar una masa plástica, que estira y funde ya que este queso se emplea en la preparación de alimentos típicos mexicanos que requieren de un queso que funda. La capacidad de fundir depende de algunos factores entre los cuales resalta la proporción de grasa y humedad. El objetivo general de este estudio fue evaluar la capacidad de fundido y la textura en queso Oaxaca comercial y relacionarlos con la composición química de los quesos.

Se analizaron 29 marcas de queso Oaxaca comercial (industriales y artesanales). Se determinó su composición química, su capacidad de fundido y el perfil de textura. Se encontró que la composición química de los quesos analizados es bastante heterogénea, oscilando entre 13 % - 29 %, 15 % - 22 % y 43 % - 56 % para grasa, proteína y humedad, respectivamente. La capacidad de fundido fue también heterogénea, con un intervalo de 1198 mm² – 3199 mm² que representa un índice de fundido de 124 % - 332 % (con respecto a un área original de 962 mm² (100 %)). La correlación entre el contenido de grasa y fundido fue de 0.2479, mientras que para la humedad fue de 0.0206. En el perfil de textura, se observó que a medida que aumentaba el contenido de grasa en el queso, disminuía la cohesividad y la elasticidad, mientras que a medida que aumentaba la humedad éstos parámetros de textura se incrementaban. Se concluye que el comportamiento del queso Oaxaca comercial se atribuye a su composición química tan heterogénea, además en algunas marcas se incluyen componentes no lácteos (almidón, grasa vegetal, caseína, entre otros) que pudieran también influir en los resultados.

INTRODUCCIÓN

La elaboración de queso en México es, en comparación con el resto del mundo, de reciente aparición en nuestra cultura, pero no por ella menospreciada, pues se fabrican quesos que incluso se consumen en otros países, tal es el caso del queso Oaxaca.

El queso Oaxaca está definido como el producto obtenido a partir de la cuajada acidificada y texturizada en agua caliente de la leche fresca de vaca. Bien conocido a lo largo del país, este queso está presente en muchas recetas mexicanas; sólo como botana nadie lo desprecia y es comúnmente empleado en vez de otros quesos en algunos alimentos preparados como la pizza y el calzone. Se sabe sobre su uso y modo de empleo pero pocos estudios existen sobre sus características químicas, físicas, funcionales y de textura.

En los quesos, las propiedades funcionales se relacionan con las características de éstos que permiten darles un uso determinado. En los quesos de pasta hilada como el Oaxaca son importantes la capacidad de fundido, la capacidad para estirar y la liberación de grasa durante el calentamiento. Es en particular importante la capacidad para fundir (o índice de fundido), puesto que el queso Oaxaca se emplea en alimentos preparados en los cuales éste debe fundir.

En los alimentos, la textura es una sensación subjetiva provocada por el comportamiento mecánico y reológico de éstos durante la masticación y la deglución. En los quesos se miden la firmeza, dureza, cohesividad, elasticidad, entre otras, como parámetros de textura. Las propiedades de textura en los quesos guardan una relación estrecha con las propiedades funcionales. La variación en la materia prima, en los parámetros de proceso, la incorporación de aditivos como gomas, almidones o grasa vegetal, provocarán variaciones en la composición química del queso y por tanto en sus propiedades funcionales y en sus características de textura.

El presente trabajo se centra en la evaluación del fundido y de la textura en queso Oaxaca y queso Oaxaca de imitación comercial. El resultado del análisis efectuado al queso se compara con los ingredientes que reporta el productor en la etiqueta, entre éstos, las proteínas lácteas (caseinatos), sólidos de leche, almidón, grasa vegetal con el fin de conocer el efecto de los componentes del queso sobre las propiedades evaluadas así como ampliar el conocimiento sobre el queso Oaxaca.

I. MARCO TEÓRICO

1. 1. Queso

1. 1. 1. Queso Definición

El queso es un alimento elaborado a partir de la leche de distintas especies rumiantes como puede ser de vaca (principalmente), cabra, oveja, búfala, yegua, camella, yak (en países de Asia Central). Muchos de los quesos actualmente elaborados alrededor del mundo poseen características muy distintas entre ellos, pero sus métodos de elaboración tienen cierta similitud, haciendo posible una definición que englobe a la mayoría de ellos. La FAO/WHO (Standard No A-6, 1978) brinda la siguiente definición: El queso es el producto fresco o madurado, sólido o semi-sólido obtenido por coagulación de la leche, leche desnatada, leche semi-desnatada, nata, mazada, o cualquier combinación de estas materias, por acción del cuajo u otros agentes coagulantes y por eliminación parcial del lacto suero que se separa en esa coagulación (Scott, 1986; Walstra, 2001).

1. 1. 2. Historia del queso

Se cree que el queso comenzó a elaborarse como resultado de un accidente y de origen múltiple, así la fermentación y coagulación necesaria para el proceso pudo haberse dado en el interior de bolsas confeccionadas a partir de estómagos de rumiantes jóvenes con el fin de transportar líquidos, usadas desde tiempos prehistóricos. En Europa los primeros indicios de una tradición quesera se dan en la literatura griega en la Odisea de Homero (1184 a.C.) donde se relata como el cíclope Polifemo elaboraba queso a partir de la leche de cabras y ovejas. Con la llegada del imperio romano el queso tuvo una ampliación de su zona de elaboración pero poca variedad; no fue hasta la caída del imperio romano, que las tribus comienzan a generar nuevas variedades de queso a partir de aquellas importadas por los romanos.

La historia prosigue hasta los siglos XIV y XVII donde las hostilidades en las regiones de Europa Central, específicamente en Bohemia, Moravia y Eslovaquia impiden el desarrollo de muchas actividades comerciales, permitiendo únicamente la producción quesera en zonas montañosas de los Alpes a partir de especies lecheras de montaña como la cabra y la oveja. En esa época también se descubre el nuevo continente y comienza una migración hacia él, con la transferencia cultural que esto implica.

En la Nueva España se comienza una importación masiva de plantas y animales con el fin de producir alimentos “más propios” para la nueva población. Así, fue común la siembra de sarmientos de uva y la cría de cabras, ovejas y, principalmente, vacas. Pronto los nuevos inquilinos crearían productos lácteos utilizando la tradición lechera obtenida en su tierra natal.

Debido a la diversidad étnica involucrada en la producción de queso, los procesos de elaboración varían ampliamente entre las distintas clases de quesos, tanto que incluso la definición establecida al comienzo de este escrito no puede abarcar a todos. Las variantes de este proceso crean las distintas variedades de queso, aproximadamente unas 2000 documentadas y aún se siguen incrementando (Scott, 1986). Existen operaciones comunes que se emplean en muchos procesos de elaboración.

1. 1. 3. Etapas en la obtención de queso

Las etapas que involucran la obtención de queso (Scott, 1986; Walstra, 2001) son generales, pudiendo variar de un país a otro e incluso, de una a otra región. Estas etapas son las siguientes:

Estandarización

Es un ajuste de la composición grasa de la leche, se practica generalmente para obtener un producto homogéneo. Se realiza utilizando una descremadora y el objetivo es llegar a una relación de 0.68 a 0.70 partes de grasa por cada parte de caseínas, hablando en cantidades porcentuales, entre el 2.2 a 2.8 % de grasa en leche (Scott, 1986).

Tratamientos térmicos

Son utilizados en la industria con el fin de disminuir la cuenta microbiana que la leche bronca presenta, además esta clase de tratamientos son indispensables para asegurar que la materia prima, la leche, esté libre de microorganismo patógenos para el ser humano y obtener un producto inocuo.

El proceso más aplicado entre los productores es la pasteurización y consiste en incrementar la temperatura hasta alcanzar 73 °C, mantener esa temperatura durante 15s, y enfriar hasta 34 °C si se va a utilizar directamente en la elaboración del queso, o hasta 4 °C para almacenarla hasta que sea requerida.

Adición del cultivo láctico

El cultivo es agregado en cantidades variables que van desde el 0.5% hasta incluso el 5% del total de la leche empleada. La cantidad y tipo de cultivo empleado se calcula dependiendo de la rapidez requerida en el proceso, y del tipo de queso.

Los cultivos consumen mayoritariamente lactosa, que es el principal azúcar en la leche, cuyo contenido se encuentra en un intervalo que va del 3.8 % al 5.3 % y tiene como media un valor de 4.6% en la leche de vaca, excluyendo el calostro y la leche obtenida poco antes del parto (Walstra, 2001), y liberan generalmente ácido láctico. Esto acidifica el medio y lo prepara para una rápida coagulación por parte del cuajo.

Coagulación

El cuajo es una disolución o liofilizado de enzimas (quimosina principalmente) provenientes del estómago de terneros, los coagulantes comerciales también poseen pepsina, que es otra enzima proteolítica, y puede representar hasta un 20% de la

actividad proteolítica en el cuajo; existen coagulantes de origen microbiano como las proteasas secretadas por *Mucor miehei* y *M. pusillus*; se ha documentado incluso el uso de varitas de higuera (Walstra, 2001); actualmente se emplea quimosina pura obtenida por ingeniería genética.

La quimosina actúa en dos fases durante la formación del gel. Durante la primera fase, a un pH de 6.7, actúa rompiendo específicamente el enlace 105-106 (Phe-Met) de la caseína κ , probablemente debido a la gran afinidad de la parte activa negativamente cargada de la quimosina por la zona de la caseína κ que se encuentra cargada positivamente (Walstra, 2001), además de poseer una serina adyacente y radicales hidrofóbicos (Leu e Ile) a cada lado del enlace lábil (Eck, 1990); la hidrólisis, por parte de la enzima, produce la para κ caseína y el caseinmacropéptido. La paracaseína κ , ligada a las caseínas α_s y β , permanece integrada dentro de la micela y, en conjunto, poseen un carácter básico e hidrófobo marcado. El caseinmacropéptido, que contiene todos los radicales glucídicos eventualmente presentes, se separa de la micela y pasa al suero. Esta última especie posee un carácter ácido e hidrófilo (Eck, 1990).

En la segunda fase, ahora la micela de caseína se conoce como micela de paracaseína; la pérdida del caseinmacropéptido provoca un cambio en la composición, estructura y, además, no posee las propiedades estabilizantes frente al ion Ca. Un desequilibrio en las cargas eléctricas del sistema sucede, promovido por el carácter hidrofóbico de la paracaseína y, posiblemente, por el cambio del grado de hidratación de la misma. Esta nueva situación fomenta el desarrollo de nuevos enlaces intermicelares que conducen a la precipitación de los agregados formados (Eck, 1990). Al agregarse, las paracaseínas pueden formar más enlaces entre sí creando un coágulo (Scott, 1986). Si el coágulo sólo está parcialmente formado, es decir, no ha alcanzado la dureza necesaria antes de ser "cortado", se produce la pérdida de algunos componentes de la leche durante el desuerado (Walstra, 2001).

Una vez que ha terminado la coagulación, la quimosina hidroliza las caseínas α , y β . El cuajo es soluble en agua, por lo cual la gran mayoría de éste se encuentra en el suero y, sólo una proporción ínfima adherida a las paracaseínas, se conserva en la cuajada, poco menos del 6% del total agregado (Walstra, 2001).

El corte del coágulo

El proceso anterior desarrolla el recién formado coágulo y permite que éste se vuelva lo suficientemente firme para poder realizar un corte limpio. El corte prematuro o posterior al buen desarrollo del gel implicará bajas en el rendimiento y quesos con secciones heterogéneas. Esta es la razón por la cual muchos productores utilizan métodos empíricos para determinar el desarrollo; uno de estos, el más empleado, consiste en cortar la superficie del gel con un termómetro o con el dedo, este último no aconsejable, y verificar la presencia de suero (líquido de color amarillento o verdoso) en ese momento se puede realizar el corte sin temor a obtener un tamaño de grano muy pequeño (debido a un corte prematuro) o de tamaño irregular (obtenido cuando el coágulo se corta posterior a este momento (Scott, 1986).

Trabajo del grano y escaldado

Una vez obtenido el grano, este se deberá trabajar delicadamente, en un inicio, con el fin de evitar su ruptura, provocando la formación de partículas de grano y disminución en el rendimiento del producto final. Cuando el grano haya obtenido una membrana resistente, se puede trabajar de manera más rápida (Scott, 1986).

El escaldado o cocido de la cuajada, es un proceso que provoca que el grano libere más suero. Consiste en incrementar la temperatura del contenedor de la cuajada, este incremento de la temperatura, también acelera el metabolismo de las bacterias atrapadas en el queso; la producción de ácido láctico también aumenta, ayudando a que el grano suelte aún más suero (Scott, 1986).

Salado

Algunos quesos son salados principalmente en una salmuera (18 % - 28 % de cloruro de sodio) a temperaturas que dependen de la clase de queso, variando de 8 °C– 16 °C. El tiempo de permanencia también varía de 15 minutos hasta 5 días todo en función al tamaño de la pieza de queso y el tipo de cuajada elaborada. Es común salar el queso directamente antes de darle forma, o una vez moldeado.

El salado además de brindar sabor, que al principio fue el objetivo, provee de un obstáculo para el metabolismo de las bacterias ácido lácticas que ahora dejarán de producir ácido láctico, manteniendo el pH a un nivel constante en el producto final; también actúa como inhibidor para el crecimiento de bacterias ajenas al queso (Scott, 1986).

1. 1. 4. Clasificación de los quesos

Con base en los diferentes procesos y materia prima se ha tratado de realizar una caracterización y agrupación. Aspectos como el contenido de humedad en el producto terminado, contenido graso en el extracto seco, cultivo empleado, pH, porcentaje de sal y tipo de salado, y el tiempo de maduración, son empleados en la clasificación de los quesos (Robinson, 1993; Walstra, 2001). La clasificación a continuación descrita se extrae de la Norma Oficial Mexicana NOM-121-SSA1-1994:

- 1) Quesos Madurados: Son quesos sometidos a un proceso de maduración, pudiendo tener corteza y baja humedad dependiendo del añejamiento. Generalmente tienen una vida de anaquel larga dependiendo del contenido de humedad. La Norma los clasifica en:
 - Madurados prensados de pasta dura: Añejo, Parmesano, Cotija, Reggianito.
 - Madurados prensados: Cheddar, Chester, Chihuahua, Manchego, Edam, Gouda, Gruyere, Emmental, Holandés, Ámsterdam, Provolone.
 - De maduración con mohos: Azul, Camembert, Roquefort, Danablu, Brie.

- 2) Quesos Procesados: Se caracterizan por ser elaborados por fusión y emulsión de mezclas de quesos con sales fundentes y sometidos a un tratamiento

térmico de 70 °C por 30s o algún otro tratamiento equivalente o de mayor tiempo o temperatura, para prolongar su vida de anaquel.

3) Quesos Frescos: Son productos con una humedad alta. No son añejados, poseen sabor suave, no tienen corteza, además, suelen tener una vida útil corta. La Norma los divide en:

- Frescales: Panela, Enchilado, Adobado.
- Acidificados: Cottage, Crema, Doble crema, Petit Suisse, Nuefchatel.
- De pasta cocida: Oaxaca, Asadero, Mozzarella, Del Morral, Adobera.

1. 1. 5. Queso Oaxaca

Es definido en la norma NMX-F-733-COFOCALEC-2010 como el producto elaborado a partir de la cuajada proveniente de leche fresca o en polvo. Entera o parcialmente descremada, sometida a tratamiento térmico que asegure su inocuidad, a la cual se le puede adicionar cloruro de calcio, cuajo cultivos lácticos y/o ácido. La cuajada obtenida es fundida con agua caliente o calor indirecto y en su proceso la proteína es texturizada en forma de hilo o hebra, y es colocada en agua o en salmuera fría, para ser los hilos o hebras, posteriormente, enredado en formas diversas. Es un queso fresco, que se consume preferentemente en los primeros 20 días a partir de su fecha de elaboración y requiere refrigeración para su conservación; de pasta blanda y fundible, cuya característica principal del hilo o hebra es la formación de filamentos que se deshilan o deshebran. El producto no puede contener grasa y proteínas de origen diferente al de la leche, ni almidones, ni féculas.

La norma NOM-121-SSA1-1994 describe a los quesos elaborados con leche. Sin embargo, en el mercado mexicano existe una amplia gama de quesos de imitación. Cabe mencionar que la legislación mexicana acepta la inclusión de ingredientes ajenos a los componentes lácteos pero no da especificaciones precisas sobre su uso. Además no existe una definición para describir productos elaborados a partir de mezclas de productos lácteos y componentes ajenos a la leche, como pueden ser gomas, almidones, aceites y grasas no lácteas, y proteínas no lácteas.

1. 1. 6. Queso Oaxaca de Imitación

De acuerdo a Bachmann (2001) los quesos análogos o de imitación son usualmente definidos como el producto lácteo obtenido por la mezcla de constituyentes, lácteos o no lácteos, individuales. Su uso se está incrementando debido a su relación efectividad – costo, atribuible a la simplicidad de su manufactura y al reemplazo de ciertos ingredientes lácteos por productos vegetales económicos.

Debido a la inclusión de otros ingredientes no lácteos los procesos de elaboración cambian con respecto al proceso original y, en ocasiones, es necesaria la adición de sustancias que facilitan la mezcla. A continuación se describen dos procesos de elaboración, el primero de queso procesado de imitación, y el segundo de queso Mozzarella de imitación:

1. 1. 6. 1. Proceso de elaboración de queso Procesado de Imitación

La grasa es fundida, y su temperatura aumentada a 70 °C. Después un sistema estabilizante es agregado y el agua es mezclada, y una emulsión es formada con un batido rápido. Después la proteína es lentamente adicionada, y el desarrollo de la textura inicia. Entonces la sal, saborizantes y ácido son agregados. La caída del pH tiene un fuerte efecto sobre el desarrollo de la textura. Este proceso básico puede ser desarrollado hasta ser más sofisticado (Bachmann, 2001).

1. 1. 6. 2. Proceso de elaboración de queso Mozzarella de Imitación

Primero una disolución en agua es preparada, dicha disolución contiene la sal, el cloruro de calcio, sorbato de potasio. Cerca del 70% del caseinato de sodio total empleado y todo el caseinato de calcio es agregado a la disolución anterior y es mezclado mientras es calentado gradualmente a 54.5 °C, lo cual produce una pasta fluida, homogénea y fina que tiene la apariencia y consistencia de la avena cocida.

La grasa vegetal es entonces calentada también a 54.5 °C, agitada y mezclada con el caseinato de sodio restante. Dicho proceso produce una mezcla que es ligeramente menos viscosa que el aceite del cual proviene y tiene una apariencia y consistencia similares a un batido de leche.

La mezcla de aceite y caseinato es agregada a la mezcla en agua y agitada, mientras su temperatura es ahora elevada a 74 °C obteniendo un producto ligeramente grumoso. Cuando la mezcla está libre de grumos, el ácido láctico y el sabor son agregados a la mezcla con agitación, con una temperatura de 76.6 °C. Durante la adición del ácido, los grumos restantes desaparecen dando paso a una fina suspensión de partículas. Después del mezclado, aún a 76.6 °C, la mezcla se bombea a un homogeneizador a 1000psi en la primera estancia, y de ahí a un intercambiador de calor donde es enfriado a 22 °C y ya en estado sólido, para ser posteriormente almacenado a 4 °C.

1.2. Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales de los quesos son un conjunto de indicadores que permiten cuantificar sus requisitos de desempeño y, de alguna u otra forma, las propiedades funcionales se relacionan con las expectativas o la percepción que el consumidor tiene respecto al producto. En el caso del queso Oaxaca tanto la textura como la capacidad de fundir, así como su estiramiento y liberación de grasa, son características que busca el consumidor a la hora de elegir este queso pues es un ingrediente muy socorrido en la comida mexicana tanto fundido, como deshebrado e inclusive solo. Entonces las propiedades de fundido y textura propias de estos quesos son factores críticos que afectan la percepción de la calidad y aceptabilidad del consumidor hacia el producto (Metzger, 1999).

Las propiedades funcionales a estudiar en el queso Oaxaca, en el presente trabajo, es su capacidad para fundir y la textura los cuales dependen de numerosos factores, que a continuación se describen.

1. 2. 1. Fundido

El fundido puede ser definido como la tendencia del queso a suavizarse bajo calentamiento (Kapoor y Metzger, 2008). La definición anterior es correcta para la mayoría de los quesos, pues estos se suavizan bajo un tratamiento térmico, no obstante, en los quesos de pasta hilada, estos presentan la propiedad de fluir cuando se les aplica un tratamiento térmico suficiente (entre 65°C y 75° C en el interior del queso dependiendo de la composición), así la siguiente definición es más adecuada para el fundido aplicado a esta clase de queso: Es la habilidad del queso para fluir y extenderse a altas temperaturas (Candioti *et al.*, 2007).

El queso se describe como una estructura similar a una esponja en la cual, la proteína forma una red alrededor de los glóbulos grasos. Cuando un queso es calentado, muchos cambios relacionados entre sí pueden ser observados, como el fundido, flujo, suavizado e hilado. Dependiendo la clase de queso, estos cambios pueden ocurrir a temperaturas relativamente bajas (como ocurre con quesos Camembert muy madurados), aunque frecuentemente es necesaria una temperatura más alta (>40 °C) (Lucey *et al.*, 2003).

Bajo un tratamiento térmico la grasa, sólida a temperatura ambiente, se funde; como resultado de este proceso se provoca el debilitamiento de la estructura del queso, el cual no puede soportar su propio peso y colapsa sobre sí mismo (Candioti *et al.*, 2007). Durante el proceso anterior no sólo se pierde grasa, también se libera una importante cantidad de humedad; la red proteica, además de colapsar, asume una estructura compacta, dicho fenómeno será intensificado por la subsecuente agregación proteica. Es entonces cuando el ritmo de la expansión del queso comienza a detenerse y la tendencia a compactarse comienza a ser notoria (Wang y Sun, 2002a). Desde el punto de vista físico, una sustancia funde cuando pasa de una apariencia “sólida” a una apariencia “líquida” (Lucey *et al.*, 2003), razón por la cual el

proceso anterior es conocido como “fundido”; su medida y estudio se encuentra relacionado a los parámetros de elaboración y composición.

Con fundamento en lo anterior, el fundido puede describirse por dos fenómenos, uno de suavizado y otro de fluido. El suavizado está caracterizado principalmente por la pérdida de la elasticidad, cosa que ocurre en todos los quesos cuando son calentados. En otras palabras, el queso durante un proceso térmico, primero se suaviza y luego fluye (Lucey *et al.*, 2003).

La mayoría de las pruebas para evaluar la capacidad de fundido utilizan la gravedad para determinar el ritmo y la extensión del flujo del queso cuando es calentado. (Lucey *et al.*, 2003). Comúnmente se realiza la toma de una muestra de medidas y/o peso determinados y, posteriormente se calienta en condiciones y tiempos establecidos. El incremento en el área o el incremento del diámetro como porcentajes suelen ser los resultados de la prueba. Existen métodos comunes para determinar la capacidad de fundido en quesos:

- Prueba de Arnott: En este método, cilindros de queso de dimensiones específicas son calentadas en un horno a temperatura determinada por un periodo de tiempo establecido y el decremento en la altura del cilindro, expresado como un porcentaje, se reporta como el fundido que presenta la muestra (Arnott *et al.*, 1957; Kapoor y Metzger, 2008).
- Prueba de Schreiber: En esta prueba, discos de queso de dimensiones pre establecidas, se someten a un tratamiento térmico en un horno a temperatura predeterminada, por un lapso de tiempo predefinido; el diámetro final o área de la muestra posterior al tratamiento térmico son reportados como el fundido del queso procesado (Muthukumarappan *et al.*, 1999; Wang y Sun, 2002a; Wang y Sun, 2002b; Candiotti *et al.*, 2007). Es una de las pruebas más sencillas de implementar y, por ende, muy común; se ha documentado su práctica en muchas fuentes, con pequeñas variaciones (Muthukumarappan *et al.*, 1999; Wang y Sun, 2002a; Kapoor y Metzger, 2008).
- Prueba de Fundido en Tubo: Olson y Price (1958) desarrollaron el método como una forma de medir la textura de la muestra fundida y las propiedades de flujo del queso procesado. En esta prueba, una muestra de queso procesado de peso y dimensiones específicos, es colocado en un tubo de cristal que es calentado horizontalmente en una estufa a una temperatura determinada previamente, por un tiempo definido; se mide la extensión del flujo para medir la textura del queso procesado (Kapoor y Metzger, 2008).

Las pruebas descritas se emplean por igual para determinar la capacidad de fundido en quesos, sin embargo, no existe estandarización de las condiciones de fundido o de las dimensiones de la muestra a emplear entre las pruebas. Esto hace difícil la comparación de los resultados obtenidos; investigaciones acerca de la variación de los resultados tanto para condiciones de fundido (Wang y Sun, 2002a) como para

distintas dimensiones de muestra (Wang y Sun, 2002b) se han realizado con el fin de demostrar la relación o los errores que pudieran acarrear las modificaciones a las técnicas ya establecidas.

1. 2. 1. 1. Efecto de la composición del queso sobre el fundido

La composición influye en las propiedades funcionales que el queso posee, también define el uso que se le va a dar. Así la gran mayoría de los quesos que funden son quesos producidos con un pH bajo, que les proporciona una red relativamente débil; con valores de grasa y humedad altos. La gran cantidad de sustitutos de grasa y rellenos en queso actúan como impedimento en la formación de enlaces proteína - proteína (Bhaskaracharya y Shah, 2001), en el primer caso, o como humectantes cuya función es mantener un alto grado de hidratación de la estructura (McMahon *et al.*, 1996; Zisu y Shah, 2005), en el segundo caso.

La capacidad de fundido está determinada, por sobre las demás causas, por el número y fuerza de las interacciones caseína - caseína (Lucey *et al.*, 2003; Cunha y Viotto, 2010). La fuerza de esas interacciones caseína - caseína viene dada por el contenido de calcio en el producto final.

Durante la elaboración del queso, el descenso del pH juega un papel importante en la solvatación del fosfato de calcio coloidal presente en la matriz de caseínas, liberando una gran cantidad de calcio de la cuajada, que se pierde en el suero (Joshi *et al.*, 2003; Sameen *et al.*, 2008). Lo anterior queda demostrado en el trabajo realizado por Zisu y Shah (2005), en el cual se encuentran datos de fundido que demuestran un incremento de la capacidad de fundido en quesos que fueron elaborados con leche sometida a pre acidificación.

El número de las interacciones caseína - caseína viene dada, además, por la facilidad que haya en la estructura para formar un enlace. La reducción en el contenido graso causa una excesiva formación de enlaces proteicos, debido a la falta de un estorbo físico que impida su formación, reduciendo la retención de agua en el queso que resulta en una pobre capacidad de fundido y un cuerpo duro o gomoso (Bhaskaracharya y Shah, 2001). El fundido puede ser influenciado entonces por el tamaño de partícula de los glóbulos de grasa presentes en el queso. Producto con glóbulos grasos de tamaño pequeño y uniforme, resultará en una mayor área de superficie y un mayor número de enlaces proteína - proteína capaces de formarse y estabilizar la matriz proteica. Así con el incremento del número de enlaces en la red de caseínas el producto presentará una reducida capacidad de fundido (Guinee *et al.*, 2000; Cunha y Viotto, 2010).

La grasa, además de funcionar como impedimento en la formación de enlaces por parte de las proteínas, provee de un efecto "lubricante" en el queso cuando éste es sometido a un proceso de calentamiento (Zisu y Shah, 2005). La grasa es el único sólido que verdaderamente funde; en los intervalos de temperatura usualmente utilizados en el horneado de pizzas (Lucey *et al.*, 2003). La materia grasa en la leche se compone de diferentes triglicéridos, cada uno con diferentes puntos de fusión. Algunas fracciones serán fundidas a temperaturas de refrigeración, mientras que

otras fracciones fundirán a temperatura ambiente, no obstante, la grasa perteneciente a la leche fundirá por completo a una temperatura cercana a los 40°C (Walstra *et al.*, 2001).

Para los quesos elaborados sin descremar la leche, el fundido comúnmente está asociado con un buen pH de la pasta durante el salado; un buen madurado y, por supuesto, a un alto contenido graso. En los quesos bajos en grasa este comportamiento puede ser controlado por un incremento en el contenido de humedad y un correcto madurado, resultando en una aparente preservación de la habilidad para fundir si el descenso en el contenido graso se acompaña de un aumento en el nivel de humedad (Zalazar *et al.*, 2002).

La grasa contenida en el producto final también afecta de manera significativa el fundido en queso Cheddar; con el incremento de grasa, se incrementa el fundido (Ustunol *et al.*, 1994). No obstante, un comportamiento de fundido deseable parece estar relacionado más a altos niveles de humedad y un correcto madurado, que al nivel de grasa (Zalazar *et al.*, 2002).

Muchos estudios han demostrado que el contenido de humedad en quesos Mozzarella afecta su textura y funcionalidad; quesos con elevada retención de humedad resultaron más suaves y poseían propiedades de fundido mejoradas haciendo al producto más maleable (McMahon *et al.*, 1996; Petersen *et al.*, 2000; Zisu y Shah, 2005).

Se ha reportado que la relación entre el índice de fundido y el contenido de grasa en queso ($R^2=0.90$) es mayor que la relación entre el índice de fundido y el contenido graso en muestras secas ($R^2=0.61$) indicando así que la humedad también juega un papel importante durante el fundido (Wang y Sun, 2002a).

Entonces, en quesos bajos en grasa, es necesario conservar un nivel adecuado de humedad para poder mantener las características de textura y funcionales; para mejorar las características funcionales de quesos bajos en grasa se debe obtener una relación humedad - proteína similar o mayor al observado en quesos elaborados con leche sin descremar. El queso bajo en grasa visto al microscopio presenta canales de suero poco numerosos con respecto a un queso con grasa (22%) y para lograr expandirlos se puede hacer uso de sustitutos de grasa que actúen como rellenos (McMahon *et al.*, 1996; Zisu y Shah, 2005) y que al mismo tiempo retengan humedad.

Awad *et al.* (2005) reportaron una pobre capacidad de fundido para 3 quesos elaborados con leche descremada de las 4 repeticiones realizadas, cada una con una de las 3 cepas de *Streptococcus thermophilus* y una cepa *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* productoras de exopolisacáridos, y realizando dos quesos Cheddar control, uno elaborado a partir de leche descremada y otro con leche sin descremar. Solo una prueba, aquella que empleó la cepa de *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, mantuvo sus características de fundido cercanas al control elaborado con leche sin descremar, la razón de esto, fue explicada a través de la humedad en la materia no

grasa presente en esta muestra. El incremento de la humedad en la materia no grasa, disminuye la concentración proteica y, por tanto, el número de enlaces intermoleculares (Lucey y Fox, 1993). También se menciona que la relación caseína - agua tiene un mayor efecto en el fundido de geles a base de caseína que el nivel de grasa (Awad *et al.*, 2005).

La grasa en el sistema tiene una función “protectora” para el agua contenida en la estructura, evitando la pérdida de humedad del queso durante el calentamiento, como es expuesto por Metzger y Barbano (1999). Mencionan que las características de fundido y pardeamiento en quesos Mozzarella libres, bajos y reducidos en grasa, pueden ser controladas previniendo la deshidratación de la superficie y endurecimiento del queso rallado, con el uso de una cubierta hidrófoba. Así al utilizar temperaturas altas para fundir muestras de queso, aquellas con un bajo porcentaje de grasa, tendrán un fundido bajo, no debido a la falta de grasa, sino debido a la evaporación del agua y liberación de grasa (la poca que posea) antes de tiempo (en comparación con una muestra con contenido graso normal) limitando el área de expansión y, por lo tanto, el fundido (Wang y Sun, 2002a).

1. 2. 2. Textura

La palabra textura deriva del latín *textura*, que significa tejido, y originalmente se usó en referencia a la estructura, sensación y apariencia de los tejidos. No fue hasta la década de 1960 que se empezó a utilizar para describir “la constitución, estructura o esencia de *cualquier* cosa en relación a sus constituyentes, elementos formativos” Actualmente la textura en alimentos se define como “Todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos” (Rosenthal, 2001).

La textura de los alimentos es entonces una experiencia básicamente humana, pues es la combinación de muchas “medidas” que se revelan al manipular un alimento, inclusive, desde antes de comerlo. Razón por la cual, antes de la década de 1940, la evaluación de la textura, utilizando para ello personas como instrumento de medición, era considerado poco fidedigno, subjetivo, con poca, por no decir nula, reproducibilidad, y no digno de ser un estudio serio (Rosenthal, 2001).

Es así como surgen los ensayos imitativos a partir de la observación del proceso de deglución humana y ensayos de caracterización de materiales para la construcción. El estudio se hace en una máquina que simula un proceso de masticación; las primeras de estas máquinas inclusive incorporaban dentaduras humanas que oscilaban una sobre la otra, imitando así el movimiento de la mandíbula. Pero el ensayo resultaba algo complejo de reproducir pues los resultados obtenidos dependían de la posición de los sensores y del movimiento relativo de la “mandíbula”. El problema fue resuelto al sustituir las mandíbulas por una base fija y un émbolo móvil de área conocida. Es por medio de las lecturas obtenidas en estas máquinas que fue posible desarrollar a mediados de los 60's el Texture Profile Analysis (Análisis de Perfil de Textura), abreviado como TPA (Rosenthal, 2001).

La caracterización de la Textura en quesos incluye generalmente parámetros como *dureza*, *cohesividad* y *elasticidad* (Bhaskaracharya y Shah, 1999; Zisu y Shah, 2005); *dureza*, *cohesividad*, *gomosidad*, *masticabilidad* y *adhesividad* (Awad *et al.*, 2005); y *dureza*, *cohesividad*, *adhesividad* y *elasticidad* (Bertola *et al.*, 1996). Para lograr un control en los resultados, es decir, evitar variación por errores debidas al tratamiento de las muestras, estas últimas se cortan de un tamaño determinado generalmente expresado como un valor de área comúnmente denotada en mm o cm de diámetro y una altura expresada en las mismas unidades que el área. Así Bhaskaracharya y Shah (1999) cortaron sus muestras con un diámetro de 20mm y una altura de 20mm, medidas idénticas a las empleadas por Awad *et al.* (2005).

1. 2. 2. 1. El Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Se trata de una prueba que conlleva la compresión de una muestra dos veces consecutivas, valiéndose de un analizador de textura o texturómetro, las dos compresiones generan los dos montes que se aprecian en cualquier TPA y, si la muestra es adhesiva, una depresión entre los dos valles. De la curva obtenida se obtienen algunos parámetros y otro tanto se calcula a partir de los anteriores como a continuación se describe (Smewing, 2001).

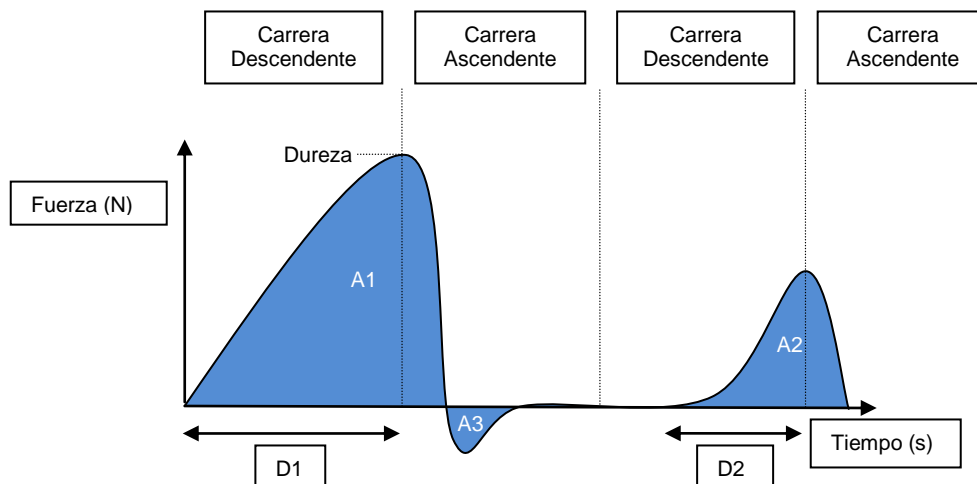


Figura 1. Muestra los distintos parámetros obtenidos a partir de una curva resultado de un TPA (Smewing, 2001).

Cuadro 1. Parámetros del TPA y cálculo.

Parámetro	Cálculo
Firmeza	A1
Adhesividad	A3
Cohesividad	$A2/A1$
Elasticidad	$D2/D1$
Gomosidad	<i>Dureza(Cohesividad)</i>
Masticabilidad	<i>Gomosidad(Elasticidad)</i>

1. 2. 2. 2. La dureza

Se define como el máximo de fuerza que tiene lugar a cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Usualmente se registra en unidades de fuerza como son gf o N (Smewing, 2001). La dureza es atribuida a la excesiva formación de enlaces proteína - proteína que reduce la retención de agua traducido en un incremento de la dureza de la muestra como puede observarse en quesos elaborados con una reducción de su contenido graso (Bhaskaracharya y Shah, 2001); la reducción del contenido graso entonces incrementa la dureza del queso (Awad *et al.*, 2005). Una solución parcial se halla incrementando el nivel de humedad en el producto final ocupando diversos métodos como son: incremento del tiempo de coagulación, bajar la temperatura y tiempo de cocido de la cuajada, pH altos al corte y desuerado del grano y homogeneización o micro fluidización de la crema utilizada para estandarizar. Sin embargo, en la industria es más común el uso de estabilizadores, sustitutos de grasa y mantequilla dulce. Es por eso que el incremento de la dureza en etapas finales del madurado de los quesos podría estar relacionado también a la reducción de agua libre en el sistema, incrementando la resistencia a la deformación (Awad *et al.*, 2005).

1. 2. 2. 3. La firmeza

Se define como la energía necesaria para lograr comprimir la muestra; se registra en unidades de energía como el Joule (J) o Newtons por milímetro (N.mm) y se calcula a partir del área A1 en la gráfica del análisis de perfil de textura. La firmeza en quesos es comúnmente atribuida a la agregación de micelas la cual está muy ligada a la concentración de las mismas, la adición de aditivos, a la maduración y al pH. El descenso del pH influye directamente en el contenido de calcio haciendo que descienda en el sistema, influyendo en las propiedades funcionales del queso Mozzarella así, con el incremento de la concentración de calcio, se da un incremento en la firmeza en el producto final y viceversa para un descenso en la concentración (Sameen *et al.*, 2008). La adición de almidón provoca un incremento en la firmeza del queso al actuar como “adhesivo” uniendo las caseínas, por otro lado, absorbiendo agua en el sistema (Ye *et al.*, 2009). El uso de grasa vegetal tiende a hacer los quesos más suaves, menos elásticos y firmes debido a que existe como una aglomeración en el sistema evitando la formación de enlaces entre las proteínas (Bachmann, 2001).

1. 2. 2. 4. La adhesividad

Es el trabajo requerido para separar el queso de una superficie (Bourne, 1982) y es un dato que se revela una vez la sonda se retira de la muestra por primera vez. Si la muestra se adhiere a la sonda, ésta registrará una fuerza negativa, la medida del área en el interior de la curva negativa (A3 en la Figura 1) se toma entonces como una medida de esta adherencia; no existen medidas reales para ésta, no obstante se expresa comúnmente en unidades de fuerza por unidad de tiempo si se calcula a partir de una gráfica fuerza vs tiempo (Smewing, 2001). Awad *et al.* (2005) realizaron perfiles de textura en quesos elaborados con distintas cepas de bacterias ácido lácticas productoras de exopolisacáridos (EPS) llegando a la conclusión que la reducción del contenido graso incrementa la adhesividad, pero no es debido a la

reducción de grasa en sí, sino más bien al incremento de la habilidad de las proteínas para interactuar con agua pues, explican, que pasados 6 meses de madurado, el queso con contenido de grasa normal y los quesos elaborados con cepas productoras de EPS tenían una mayor adhesividad que el queso bajo en grasa control y aquel elaborado con una cepa negativa a la producción de EPS.

Lo anterior parece no aplicar a quesos análogos; Yang y Taranto (1982) describen un comportamiento completamente contradictorio en sus quesos elaborados con proteína de soja. Así, entre los quesos análogos, se observa que la adhesividad estaba linealmente relacionada con la incorporación de grasa ($r=0.9754$) y la dureza ($r=0.9452$), indicando el autor que el refuerzo de los enlaces estructurales por parte de la grasa, no sólo contribuye con la dureza, sino también con la adhesividad del producto final.

1. 2. 2. 5. La cohesividad

Mide la dificultad para romper un alimento en la boca y, en el caso de un texturómetro, el trabajo requerido para aplastar por segunda vez una muestra en relación con el trabajo requerido para aplastarla la primera vez. Esto da como resultado un valor adimensional expresado como un porcentaje, que se interpreta como la cantidad de enlaces internos de la muestra que permanecieron intactos después de la primera compresión (Smewing, 2001).

La naturaleza de la matriz proteica y la dispersión del contenido graso contribuyen a la cohesividad o la tendencia del queso de adherirse a sí mismo. Así, cualquier factor que contribuya al desequilibrio de la estructura del queso, contribuirá para disminuir su cohesividad (Awad *et al.*, 2005). En quesos análogos la situación es distinta, se reporta que la adición de sustancia grasa no interfiere de manera significativa en la cohesividad del producto final (Yang y Taranto, 1982).

1. 2. 2. 6. La elasticidad

Es representada por la altura que el alimento recupera durante el tiempo transcurrido entre el final de la primera compresión y el inicio de la segunda (Bevilacqua y Zaritzky, 1996). Pero el resultado de la definición anterior no toma en cuenta ese tiempo transcurrido en el cálculo, razón por la cual, la definición que se utilizó en este trabajo es aquella expuesta por Bourne (1982): Elasticidad es la razón a la cual un material deformado regresa a su forma original después de haberse retirado la fuerza deformante. La expresión de esta definición se muestra como $D2/D1$ en el Cuadro 1, y en realidad relaciona los tiempos entre el inicio y el clímax de ambas compresiones, debido a que los tiempos de compresión están relacionados con el avance del émbolo a partir de la velocidad de este último (parámetro fijo para una prueba específica en el texturómetro), entonces los valores $D1$ y $D2$, en conjunto, mostrarán un índice de resistencia a la deformación de la muestra, todo esto expresado como un porcentaje.

Se atribuye a la proteólisis el descenso de la dureza y de la elasticidad (Awad *et al.*, 2005) debido a que durante este proceso se hidrolizan los para κ -caseinatos,

responsables de la elasticidad y estructura en el queso. No obstante, está documentado que la pérdida de elasticidad y aumento de la suavidad en los quesos es debido a un efecto secundario provocado durante la proteólisis (Lucey *et al.*, 2003), y se trata de la migración interna del agua, debida a una absorción de suero por parte de la proteína hidrolizada (aumenta su capacidad de hidratación) (McMahon *et al.*, 1999; Guinee, 2002) y a una solvatación del fosfato de calcio en forma coloidal (Lucey *et al.*, 2003). Esto concuerda con la explicación de los resultados de las observaciones sobre microestructura hechas por Hassan y Awad (2005) en las cuales se muestra una migración del suero, de los canales séricos a la red proteica; resultando en menos interacciones proteína – proteína y en el ablandamiento de la estructura.

La información expuesta en este marco teórico se utilizó como fundamento de estudio en el análisis del índice de fundido y el análisis de perfil de textura de queso Oaxaca, ya sea obtenido de forma artesanal o industrial.

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2. 1. Hipótesis de investigación

Existe una correlación estrecha entre la capacidad de fundido, la textura y los ingredientes listados en la etiqueta de queso Oaxaca comercial.

2. 2. Objetivo general

Evaluar la capacidad de fundido y textura en distintas marcas comerciales de quesos Oaxaca y Oaxaca de imitación y comparar con un queso control.

2. 3. Objetivos específicos

- Desarrollar una técnica para medir el índice de fundido en queso Oaxaca a partir de la Prueba de Schreiber (Kosikowski, 1982) y Muthukumarappan et al. (1999).
- Comparar la composición química citada por las muestras en etiqueta con aquella provista por la NMX-F-733 y la composición química determinada de las mismas.
- Relacionar el índice de fundido en los quesos analizados con los ingredientes y la composición química determinada.
- Relacionar el perfil de textura con los ingredientes reportados en la etiqueta y la composición química determinada.
- Correlacionar el índice de fundido con el perfil de textura de los quesos analizados.

III. MATERIAL Y MÉTODO

El presente estudio se llevó a cabo en 2 etapas:

- Etapa 1. Elección y toma de muestra:
 - Identificación de las marcas de queso Oaxaca vendidos en la zona, su origen y su composición (aquella que brinda el fabricante en la etiqueta).
 - Estandarización del tamaño de las muestras a utilizar en el texturómetro Shimadzu, así como también de la prueba de fundido.
- Etapa 2. Análisis de los quesos:
 - Análisis bromatológicos; contenido de humedad, proteína y grasa.
 - Adaptación de la prueba de fundido de Schreiber, a la muestra empleada (Queso Oaxaca).
 - Texture Profile Analysis.

3. 1. Etapa 1. Elección y toma de muestra

3. 1. 1. Identificación de Marcas comerciales de queso Oaxaca

Las marcas vendidas en Toluca, Estado de México, se adquirieron en los centros comerciales siguientes:

- Wal-Mart
- Soriana
- Superkompras
- Garis
- Mercado 16 de septiembre, ubicado en Ignacio López Rayón esq. M. Gómez Pedraza, Toluca, Estado de México.

El total de muestras adquiridas para su estudio fue de 29, como control se utilizaron 4 quesos Oaxaca, elaborados en la planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Química Unidad Cerrillo, UAEM, con un proceso estandarizado.

3. 1. 2. Preparación de la muestra para Textura, análisis Bromatológicos e Índice de fundido

Se asignó un código aleatorio a cada queso comercial analizado.

3. 1. 2. 1. Textura

El tamaño de la muestra empleado fue una lámina circular de 4 mm de espesor y 12.52 mm de diámetro. Dichas medidas fueron escogidas debido a la heterogeneidad en el grosor de las muestras analizadas.

3. 1. 2. 2. Índice de Fundido y bromatológicos

Una muestra representativa de queso (~200 g) se cortó en trozos de 2-3 mm con ayuda de un cuchillo y se conservó en un recipiente hermético hasta el momento del análisis, siendo este tiempo 1 día.

3. 2. Etapa 2. Análisis de los quesos

3. 2. 1. Análisis Bromatológicos

- Determinación del contenido de humedad, en estufa a 105 °C, 18 horas (Richardson, 1985).
- Determinación del contenido graso, mediante la técnica de Gerber (Richardson, 1985) con modificaciones: la muestra se dejó hidratar en 3.5 mL de agua destilada antes de la determinación.
- Proteína: Micro – Kjeldahl utilizando la descrita en la norma (NMX-F-608-NORMEX-2002) pero utilizando 0.2 g de muestra.

3. 2. 2. Prueba de Fundido

Se realizó por triplicado empleando la técnica de Schreiber propuesta por Muthukumarappan *et al.*, 1999, con modificaciones (ver Anexo inciso 8. 2.).

3. 2. 3. Texture Profile Analysis

Se realizó por triplicado en un texturómetro Shimadzu modelo EZ - TEST utilizando el programa denominado “RheoMeter Software” versión 2.05. Se emplearon los parámetros de prueba que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Configuración utilizada de los parámetros introducidos en el texturómetro para la realización de la prueba de textura.

Parámetro	Configuración utilizada
Velocidad de Ascenso	50 mm / min
Velocidad de Descenso	50 mm / min
Distancia de Compresión	2 mm
Tiempo de recuperación	5 s
Número de Compresiones	2

3. 3. Tratamiento estadístico de los resultados

Los resultados se analizaron mediante un ANOVA utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XV (Versión 15.2.05).

Para la evaluación de las medias de los factores de estudio se empleó la prueba de comparación múltiple de Waller – Duncan, que emplea medias armónicas para la comparación entre medias con distinta cantidad de muestras. Las variables de respuesta fueron:

- Índice de fundido (%)
- TPA:
 - Firmeza (N.m)
 - Dureza (N)
- Adhesividad (N.m)
- Pegajosidad (N)
- Cohesividad (%)
- Elasticidad (%)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características y composición de los quesos evaluados

Se estudiaron un total de 29 marcas de queso Oaxaca comercial (artesanal e industrial) de las cuales fue posible extraer la información de etiqueta a 22 de ellas, 7 muestras carecían de información sobre composición química o estaba incompleta; 4 se vendían a granel y carecían de información sobre los ingredientes o insumos empleados en su obtención.

La información contenida en la etiqueta mostró amplios intervalos; el contenido de grasa mínimo y la humedad máxima tuvieron intervalos de 11 % hasta 26 % y de 48 % a 59 %, con desviaciones estándar de 3.0 y de 2.8 respectivamente. Cabe señalar que la norma para queso Oaxaca (NMX-F-733-COFOCALEC-2010) establece una proporción mínima de 20 % de grasa y una máxima de 51 % de humedad, no permite el uso de ingredientes no lácteos, sin embargo señala que pueden emplearse aditivos señalados en la NOM-121-SSA1-1994.

Los resultados de proteína mostraron valores poco reales, por lo cual no se reportan aquí.

Con base en las especificaciones de la norma para queso Oaxaca y la composición declarada en la etiqueta se estructuró la figura 2:

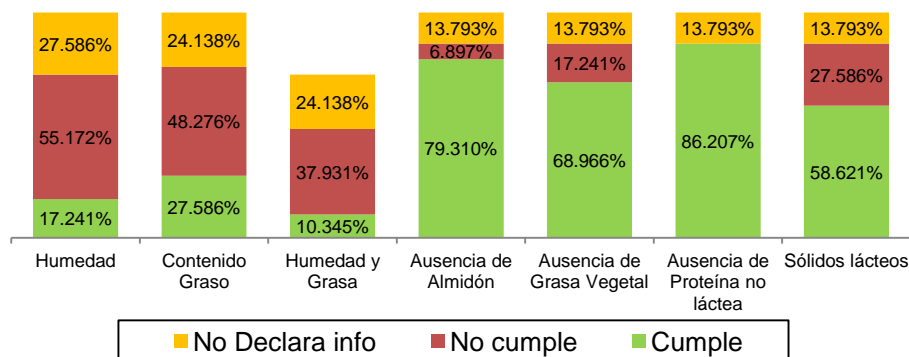


Figura 2. Cumplimiento de la composición química de queso Oaxaca en función de la información declarada en la etiqueta, con respecto a las especificaciones de la norma NMX-F-733-COFOCALEC-2010.

En función de los resultados expuestos en la Figura 2, se observa que la mayoría de los quesos no serían aceptados, de acuerdo a la composición declarada en etiqueta, pues el 48.3 y 55.2 % de las muestras no cumplen con el contenido de grasa y humedad respectivamente. Sólo el 10.3 % de las muestras, cumplen tanto con humedad como con grasa. Además 8 muestras declaran la adición de sólidos lácteos, 27.2 % de las muestras (datos no mostrados). La grasa vegetal es el ingrediente no lácteo más frecuente, presente en 5 muestras (17.2 %); 2 de las 5

muestras anteriores declaran también la adición de almidones y, como ya fue mencionado antes, la norma (NMX-F-733) no acepta en el queso Oaxaca la incorporación de componentes no lácteos. Se halla la pimaricina como conservador declarado entre los ingredientes de algunos quesos industriales. La Norma NOM-121-SSA1-1994, apartado 7.6.3 “Conservadores” no autoriza su uso para quesos “Frescos”.

Los resultados obtenidos en la determinación de grasa y humedad se muestran en la figura 3. Como ya se mencionó, también se determinó proteína por la técnica micro – Kjeldahl sin embargo, los resultados no se ajustaban a la realidad por lo cual no se reportan.

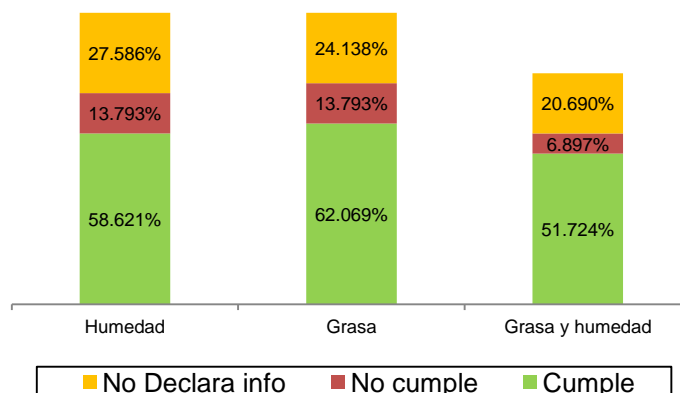


Figura 3. Cumplimiento de la composición química de queso Oaxaca en función de la información declarada en la etiqueta, con respecto a los resultados de análisis de laboratorio.

Con respecto a los análisis de laboratorio se observa que el 51.7 % de las marcas cumplen con sus declaraciones de grasa y humedad en conjunto (15 marcas), el 48.3 % restante de los productores no se ajusta a las declaraciones en la etiqueta o no las reporta. Un 58.6 % (17 muestras) y un 62.1 % (18 quesos) cumplen con sus declaraciones de humedad y grasa marcadas en la etiqueta, respectivamente.

Por otro lado, existen entre las marcas de queso Oaxaca analizado, algunas con muy bajo contenido graso, que pudieran entrar en la clasificación de productos reducidos o bajos en grasa. A este respecto, éstos pudieran legislarse con base en la NOM-086-SSA1-1994. En el cuadro 4 éstos se incluyen en la columna etiquetada como “Grasa (según NOM-086)”.

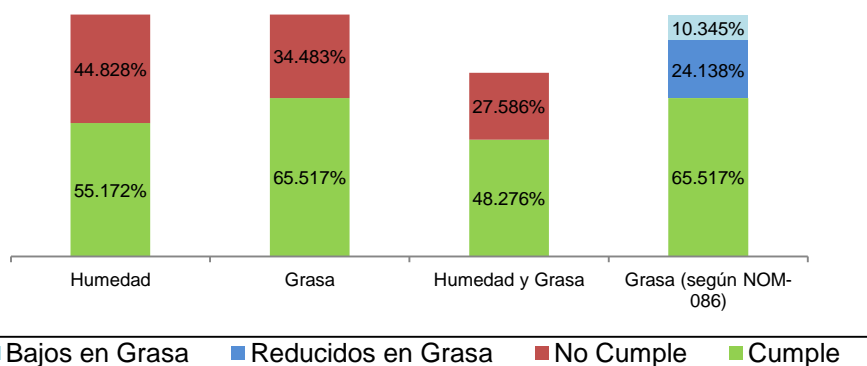


Figura 4. Cumplimiento de la composición química de queso Oaxaca determinada con respecto a las especificaciones de la norma NMX-F-733-COFOCALEC-2010.

Con respecto a la figura 4, sólo el 48.3 % de las muestras, cumplen con las especificaciones de la NMX-F-733-COFOCALEC-2010 en grasa (20 % mínimo) y humedad (51 % máximo). Entre los quesos analizados se encuentran algunos bajos en grasa o con un contenido graso por debajo de la especificación. La norma NOM-086-SSA1-1994 establece que puede haber quesos reducidos o bajos en grasa. Esta norma pudiera aplicarse para los quesos Oaxaca que tienen bajo contenido graso. En la Figura No. 4 se incluyen a estos quesos (Grasa NOM 086) que pudieran describirse como:

- Reducidos en Grasa: Porcentaje graso entre 19 % y 15 %.
- Bajos en Grasa: Porcentaje graso entre 14 % y el 10 %.

Además, faltaría incluir en la legislación a los quesos con ingredientes no lácteos (no nocivos), como aquellos con almidones y grasa vegetal y adicionar en la norma una definición que los incluya como “Queso de Imitación” o “Queso con X % de Leche”, lo cual ayudaría a establecer un criterio para evitar que los productores y empresas que producen este tipo de productos, cuyo contenido no es 100 % de origen lácteo, queden fuera de la normatividad. Si la norma incluyera a todos los tipos de queso Oaxaca que existen en el mercado se daría pauta a definiciones de productos con características similares, pero que están elaborados a partir de ingredientes no lácteos, destinados a segmentos de mercado en los cuales el consumo de lácteos está prohibido o limitado, como son los vegetarianos o bien a productos más accesibles desde el punto de vista económico.

4. 2. Composición química y capacidad de fundido

Los resultados obtenidos revelaron una amplia variabilidad en contenido de grasa y humedad en los quesos estudiados. Lo anterior dificultó la interpretación de los datos. Por tanto se agruparon en factores divididos por niveles, siendo en este caso el contenido de humedad, el contenido graso y la declaración de ingredientes los factores de estudio, obteniendo como resultado el cuadro 3 en el cual se reporta el índice de fundido con respecto al porcentaje de grasa y humedad. Puede observarse, para el caso de la humedad, que el nivel “ $\leq 46\%$ ” comprende 3 muestras de todas las analizadas y obtuvo promedios de 49.1 %, 27.4 %, 189 %, para la humedad, el contenido graso y el índice de fundido respectivamente. Los demás niveles fueron estructurados de la misma forma.

Cuadro 3. Muestra la humedad, contenido graso e índice de fundido para cada uno de los niveles de clasificación empleados.

Clasificación	Intervalo	No. De Muestras	Humedad	Contenido Graso	Índice de Fundido
			Promedio (%)		
Humedad	$\leq 46\%$	3	44.9 \pm 0.1	27.4 \pm 1.0	189 \pm 19
	46.1 % - 49 %	9	47.6 \pm 0.8	25.2 \pm 4.1	207 \pm 31
	49.1 % - 52 %	6	50.7 \pm 0.9	22.6 \pm 5.2	176 \pm 40
	52.1 % - 55 %	9	53.4 \pm 0.9	18.4 \pm 4.8	194 \pm 69
	$>55.1\%$	2	56.4 \pm 0.4	15.5 \pm 1.4	181 \pm 29
Contenido Graso	$\leq 15\%$	5	54.3 \pm 1.6	14.3 \pm 0.9	149 \pm 19
	15.1 % - 20 %	5	52.5 \pm 3.1	17.5 \pm 1.2	179 \pm 25
	20.1 % - 25 %	9	50.0 \pm 2.0	22.6 \pm 1.8	199 \pm 43
	25.1 % - 30 %	8	47.2 \pm 2.7	26.6 \pm 1.1	226 \pm 50
	$>30.1\%$	2	49.5 \pm 3.4	32.4 \pm 1.3	180 \pm 49
Ingredientes	Almidón y/o Grasa Vegetal	5	51.5 \pm 3.6	17.4 \pm 4.3	156 \pm 11
	No declara Ingredientes	4	51.9 \pm 3.7	26.4 \pm 7.7	210 \pm 54
	Sin Aditivos Reportados	12	48.6 \pm 3.2	23.9 \pm 3.5	212 \pm 49
	Sólidos Lácteos	8	51.5 \pm 2.9	20.1 \pm 5.2	180 \pm 36

Los intervalos divididos por grasa son los que muestran una mejor correlación entre índice de fundido y los resultados de los análisis bromatológicos. A medida que aumenta la proporción de grasa aumenta el índice de fundido; y con respecto a la humedad, ésta aumenta pero el fundido permanece casi constante (figura 5 y 6).

4. 2. 1. Efecto del contenido graso sobre el índice de fundido

Como se mencionó antes, el efecto de la grasa (promedio de los intervalos) presenta una cierta correlación con el índice de fundido (figura 5), aunque de forma individual los valores de fundido presentan una amplia dispersión.

Los quesos control (elaborados para este estudio) mostraron un comportamiento semejante a los comerciales, pero con valores de índice de fundido más elevados a altos contenidos de grasa.

El efecto del contenido de grasa sobre el índice de fundido ha sido reportado en numerosos estudios en quesos de pasta hilada (Mozzarella) (Kiely *et al.*, 1991; Metzger y Barbano, 1999; Wang y Sun, 2002a; Wang y Sun, 2002b; Candiotti *et al.*, 2007) y en queso Oaxaca (Colín-Cruz, 2011), donde se ha observado que el fundido aumenta en forma paralela al contenido de grasa, tal como se comportan los quesos control (figura 5).

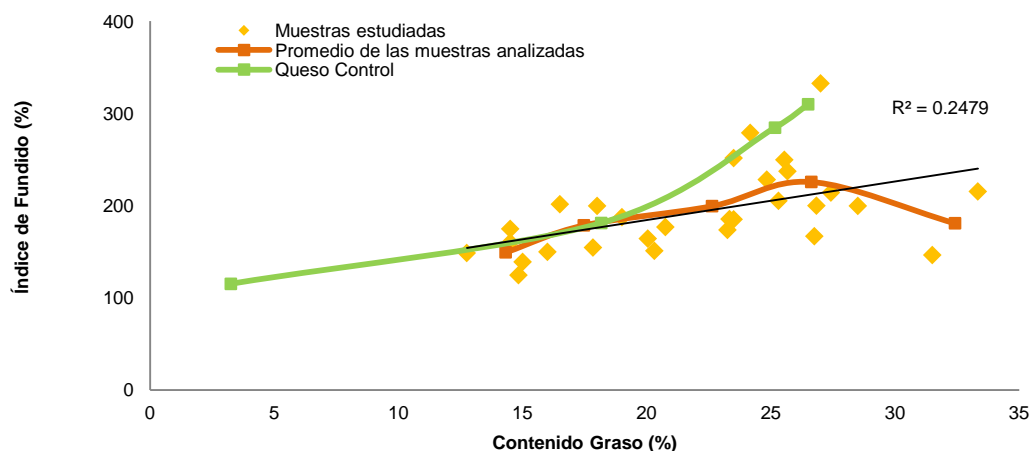


Figura 5. Muestra el índice de fundido contra el contenido graso de las muestras estudiadas.

En los quesos comerciales estudiados, el fundido aumenta a medida que aumenta la grasa y alcanza un máximo a un contenido graso de 25 – 26 %, luego desciende. No obstante, debido a la heterogeneidad de valores de fundido la correlación entre contenido graso e índice de fundido es baja.

El descenso del índice de fundido en quesos con alto contenido graso pudiera explicarse en términos de la microestructura. En quesos de pasta hilada que se estiran, como el Oaxaca, se forman fibras que disminuyen de grosor a medida que aumenta el contenido graso (Colín-Cruz, 2011); y al mismo tiempo aumenta el índice de fundido, no obstante si el contenido de grasa es muy elevado las fibras que se forman durante el estiramiento de la pasta serían demasiado delgadas e incapaces de retener la grasa que se libera prematuramente de la estructura proteica durante el calentamiento ya que es la grasa la que acarrea a la proteína durante el fundido pero es la proteína la que limita el área de fundido.

4. 2. 2. Efecto de la humedad sobre el índice de fundido

En los quesos control se observa una relación inversa entre el contenido de humedad y el índice de fundido; a mayor humedad, menor fundido (Figura 6). Como se dijo antes, la grasa tiene una influencia notable sobre el fundido y en los quesos control, la grasa disminuye a medida que aumenta la humedad.

En la literatura se halla documentado el fenómeno ilustrado en la Figura 6; Lucey *et al.* (2003) y Cunha y Viotto (2010) mencionan que el fundido está determinado por las interacciones caseína – caseína. El número de estas interacciones aumenta o disminuye dependiendo de la facilidad que exista en la estructura para formar un enlace.

Así la reducción en el contenido graso, debido a que la grasa actúa como un impedimento físico para la formación de enlaces, resulta en un número de interacciones proteína - proteína más elevado y viceversa para un contenido graso elevado; dicho contenido graso alto también afecta la capacidad de retención de agua, disminuyéndola (Bhaskaracharya y Shah, 2001). Entonces porcentajes altos de grasa en el producto final deberían de presentar porcentajes menores en la humedad final del mismo y viceversa.

En los quesos comerciales no se observa una influencia de la humedad sobre el fundido ya que la composición química es muy heterogénea con amplias desviaciones estándar ($22.1\% \pm 5.5$ para grasa y $50.4\% \pm 3.4$ para humedad).

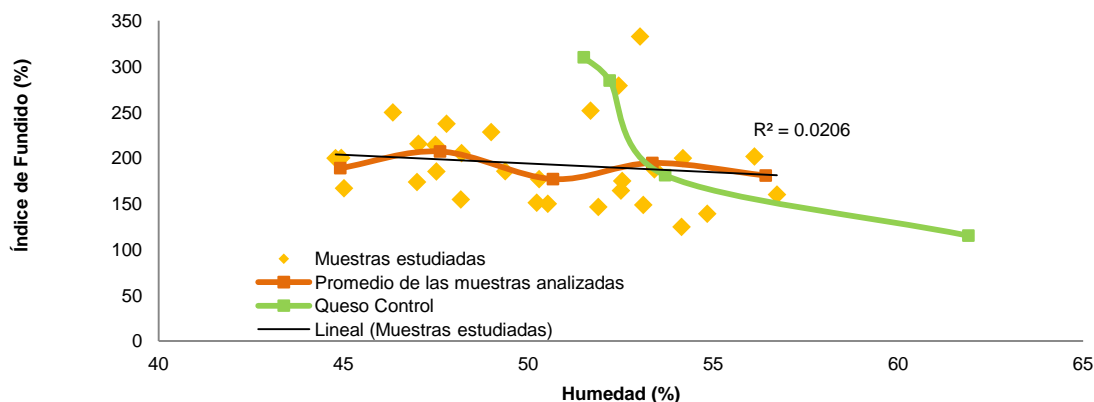


Figura 6. Muestra el índice de fundido contra la humedad en las muestras estudiadas.

Por otro lado, los índices de fundido más elevados se alcanzan con niveles altos de grasa (25%-29%) como se indica en la figura 5. Resulta complicado retener mucha grasa durante el proceso; además, representaría pérdidas para los productores. Cuando se hace una relación entre el índice de fundido/grasa y se grafica con respecto a la grasa se obtienen dos puntos máximos en los promedios de grasa: a 16.5 % y a 25.5 %. El segundo punto es similar a los valores alcanzados en las muestras control.

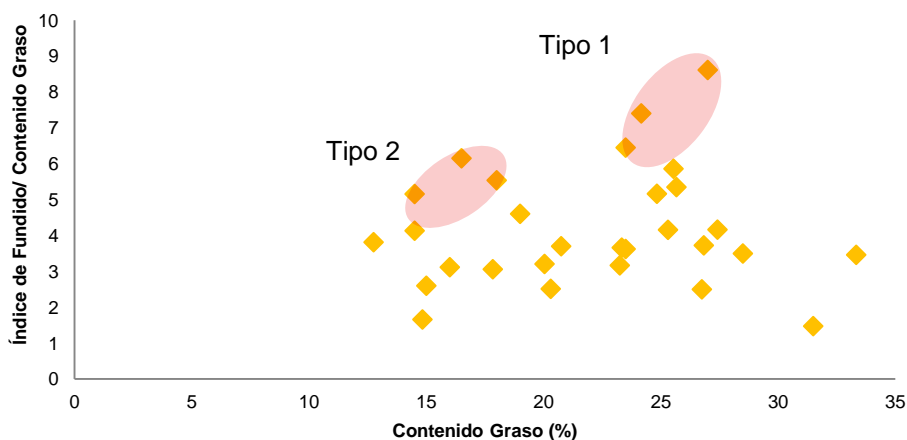


Figura 7. Muestra la relación entre el Incremento del índice de fundido y el contenido graso, para cada valor de grasa en queso Oaxaca comercial.

A partir de la figura 7, es posible inferir cuáles muestras funden “mejor” para un valor de grasa. Estos puntos máximos corresponden a un porcentaje de humedad de entre 54 % y 56 % y entre el 51 % y 53% respectivamente. En el cuadro 4 se resumen los valores de grasa y humedad que presentan altos índices de fundido en los quesos Oaxaca analizados.

Cuadro 4. Composición química de quesos Oaxaca comerciales que pueden poseer fundidos óptimos.

Queso	Grasa	Humedad	Fundido
Tipo 1	23.5 % - 27 %	51.7 % - 53 %	251 % - 332 %
Tipo 2	14.5 % - 18 %	54 % - 56.2 %	174 % - 201 %

En función de la composición química de los quesos analizados se observa que existe una relación grasa-humedad en la cual se pueden obtener buenos índices de fundido, como se observa en el Cuadro 4. Es decir, quesos bajos en grasa pero con alta humedad presentan buen fundido (quesos tipo 2) aunque la influencia de la grasa en el fundido es mayor (quesos tipo 1). “En los quesos bajos en grasa el fundido puede ser controlado por un incremento en el contenido de humedad, resultando en una aparente preservación de la habilidad para fundir si el descenso en el contenido graso se acompaña de un aumento en el nivel de humedad” (Zalazar *et al.*, 2002).

4. 2. 3. Efecto de los componentes del queso sobre el índice de fundido

Algunos de los quesos evaluados fueron adicionados de compuestos como almidones, grasa vegetal, entre otros. La influencia de estos aditivos sobre el índice de fundido se presenta en la siguiente figura:

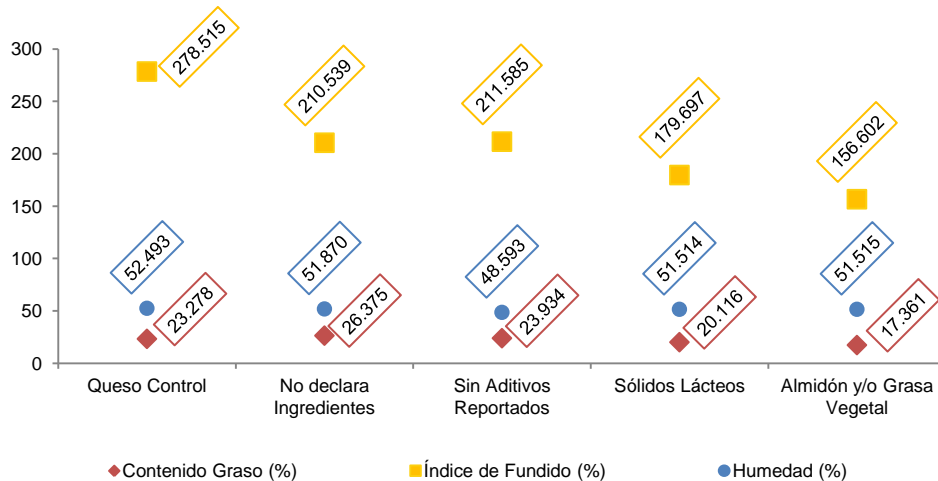


Figura 8. Muestra los promedios para grasa, humedad e índice de fundido para cada grupo de quesos en función de sus componentes.

El mayor contenido graso se halla en muestras que no declaran ingredientes, vendidas a granel, posiblemente debido a que se emplea leche entera en la elaboración o bien a que se adiciona grasa vegetal. Los quesos control poseen, en promedio, mayor fundido y humedad que los demás grupos. Por otro lado, el menor fundido se halló en las muestras que reportaban almidón y/o grasa vegetal. Ye (2009) estudió el efecto de 3 tipos de almidón en el fundido de quesos procesados de imitación. Aun cuando el autor reporta que el perfil de fundido fue distinto entre las muestras, hace énfasis en que en todos los casos el incremento de almidón en el producto genera el descenso del fundido en el queso. Dicho estudio explica, por medio del estudio de microestructura de las muestras, que el almidón en bajas concentraciones (3% sobre el peso total de la muestra) se halla en la matriz proteica en forma de granos pequeños esféricos dispersos de forma regular influyendo ligeramente en el fundido; el incremento de la concentración, hasta el 10%, facilita la generación de una red de almidón gelatinizado que interfiere con la matriz proteica, y dificulta el fundido.

Por otro lado, la presencia de grasa vegetal en las muestras analizadas afectó el comportamiento durante el fundido. Bachmann (2001) reporta que la inclusión de grasa vegetal en quesos Mozzarella de imitación afectará las propiedades de textura y de fundido en función de las propiedades fisicoquímicas de éstas y a la forma en que son mezcladas con el producto y, por ende, a la forma en que se encuentran dispersas en el sistema. Durante el fundido de las muestras analizadas se observó que los quesos adicionados de almidón fundían poco y eran opacos; la grasa liberada era blanca en aquéllos adicionados de grasa vegetal.

4. 2. 4. Pérdida de humedad durante el fundido en relación al nivel de grasa e índice de fundido.

La literatura reporta que la grasa actúa como protector de la humedad que está presente en el queso durante el calentamiento. Se relata el uso de cubiertas hidrófobas para prevenir la deshidratación y endurecimiento de muestras de queso rallado (Metzger y Barbano, 1999). Y se explica que el bajo fundido en muestras con poca grasa es causado por la evaporación y liberación temprana del agua y de la grasa, respectivamente, causando un bajo fundido (Wang y Sun, 2002a).

En este estudio se observó que existe una tendencia a perderse la humedad durante el fundido a medida que aumenta el contenido graso (figura 14 A) y a medida que aumenta el área de fundido (figura 14 B).

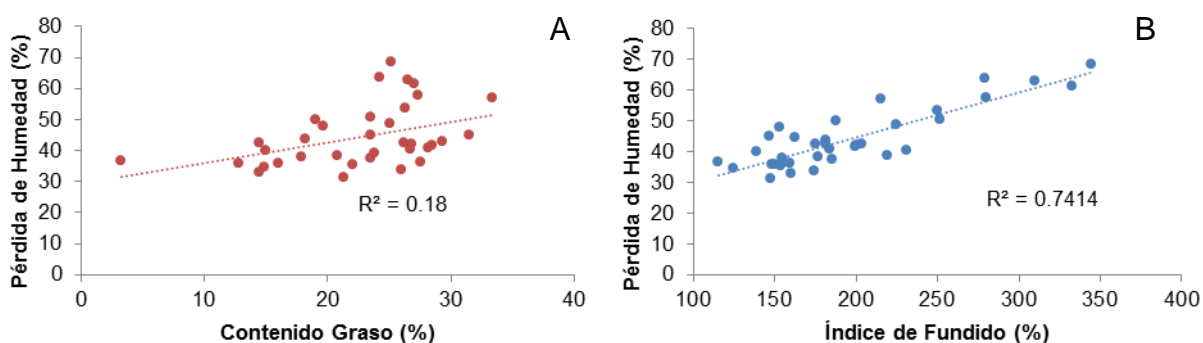


Figura 9. Pérdida de Humedad en queso Oaxaca comercial en función de la grasa (A) y en función del índice de fundido (B).

Como se observa en la Figura 14, la cantidad de humedad perdida tiene una mayor relación con el índice de fundido ($R^2 = 0.7414$) que aquella obtenida al ser contrastada con el contenido graso ($R^2 = 0.18$). La humedad perdida está entonces más relacionada con el área de la muestra fundida que con la composición. No obstante se observa que entre más grasa posea el sistema más humedad es perdida durante la cocción del queso. Este comportamiento ya ha sido observado antes en queso Oaxaca. Colín-Cruz (2011) reporta una pérdida de humedad de 38.2 % y de 64.2 % para quesos sin grasa y con 25 % de grasa respectivamente, la explicación al fenómeno sería que en el queso sin grasa existen fuertes interacciones proteína - proteína que impedirían la correcta extensión del queso durante el horneado, en cambio en los quesos con grasa ésta funde, cediendo energía a la estructura, se extiende y acarrea con ella a la proteína que colapsa, así a mayor proporción de grasa, mayor superficie de extensión y, por tanto, mayor evaporación de agua.

4. 3. Análisis de perfil de Textura (TPA) de los quesos Oaxaca comerciales.

En la evaluación de la textura, los resultados fueron clasificados de la misma forma que en el cuadro 3 en el apartado anterior. El cuadro 7 contiene las medias y desviaciones estándar de los resultados del TPA aplicado.

Cuadro 5. Humedad, contenido graso y variables del TPA para cada uno de los intervalos de los quesos Oaxaca analizados.

Clasificación	Intervalos	Muestras	Humedad (%)	Grasa (%)	Firmeza (N.mm)	Dureza (N)	Cohesividad (%)	Elasticidad (%)
Humedad	> 55.1 %	2	55.8 ± 1.3	14.7 ± 0.3	23.4 ± 15.4	13.0 ± 2.0	40.1 ± 10.1	54.6 ± 3.7
	52.1 % - 55 %	9	52.7 ± 0.8	20.8 ± 6.3	22.0 ± 8.8	24.9 ± 12.0	31.3 ± 5.4	58.0 ± 7.2
	49.1 % - 52 %	5	49.9 ± 0.7	21.0 ± 3.4	29.9 ± 20.4	23.9 ± 13.3	31.3 ± 9.5	54.6 ± 5.5
	46.1 % - 49 %	8	47.4 ± 0.6	25.2 ± 4.3	20.2 ± 6.8	21.2 ± 8.9	29.6 ± 8.7	54.2 ± 8.1
	≤ 46 %	3	44.9 ± 0.1	27.4 ± 1.0	40.5 ± 15.7	34.6 ± 13.1	38.8 ± 6.0	64.7 ± 4.6
Grasa	> 30.1 %	2	49.5 ± 3.4	32.4 ± 1.3	10.8 ± 6.2	11.3 ± 6.7	17.9 ± 8.5	46.7 ± 9.4
	25.1 % - 30 %	9	47.4 ± 2.6	26.4 ± 1.2	25.9 ± 14.1	24.1 ± 12.0	35.5 ± 4.7	60.8 ± 5.2
	20.1 % - 25 %	8	50.3 ± 2.1	22.3 ± 1.7	29.0 ± 15.8	27.5 ± 11.3	32.0 ± 7.9	56.3 ± 6.8
	15.1 % - 20 %	5	52.2 ± 2.8	16.5 ± 1.8	23.2 ± 9.0	28.2 ± 10.6	30.8 ± 6.3	57.9 ± 8.0
	≤ 15 %	3	54.1 ± 2.3	13.9 ± 1.0	24.7 ± 10.0	14.0 ± 6.4	35.7 ± 10.5	50.7 ± 1.2
Ingredientes	Almidón y/o Grasa Vegetal	5	51.5 ± 3.6	17.4 ± 4.3	25.7 ± 8.8	22.0 ± 10.7	32.1 ± 8.7	53.4 ± 5.6
	No declara Ingredientes	3	50.4 ± 3.0	29.7 ± 4.8	13.9 ± 6.9	15.8 ± 9.1	19.8 ± 6.8	47.6 ± 6.8
	Sin Aditivos Reportados	11	48.1 ± 2.8	24.5 ± 3.1	31.2 ± 16.0	27.2 ± 12.1	35.2 ± 7.8	58.8 ± 7.5
	Sólidos Lácteos	8	51.5 ± 2.8	20.1 ± 5.2	20.5 ± 8.7	23.2 ± 12.0	33.2 ± 2.7	59.4 ± 4.8

Los parámetros de textura analizados fueron, al igual que en el fundido, muy variables; los valores se encontraron entre 6.4 y 59.7 N.mm, 6.5 y 49.7 N, 11.9 a 48.2 % y 40 a 68.8 % para la firmeza, la dureza, la cohesividad y la elasticidad respectivamente.

Se observaron diferencias en los parámetros de textura evaluados entre los grupos de quesos clasificados por componentes (figura 10).

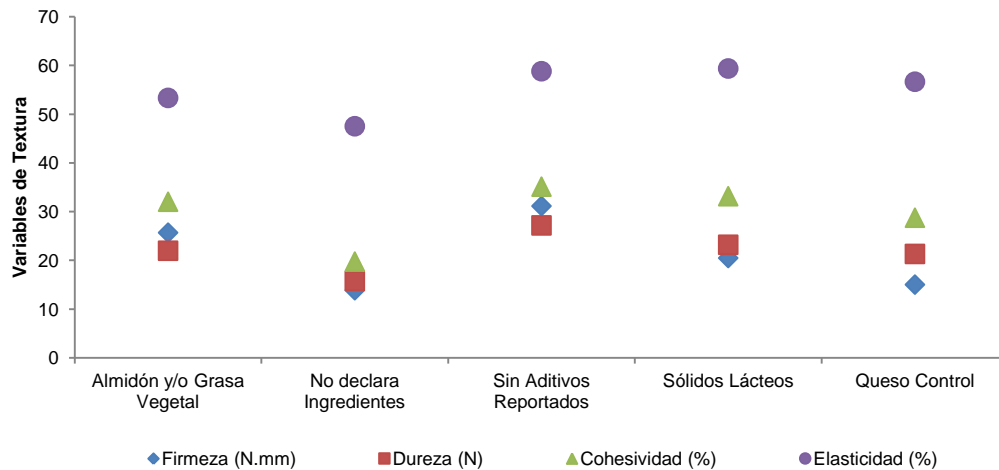


Figura 10. Muestra la firmeza, dureza, cohesividad y elasticidad de los quesos analizados clasificados por ingredientes.

Como fue mencionado en el apartado anterior, la inclusión de ingredientes no lácteos en quesos de imitación modifica la textura de éstos de tal manera que se puede regular la cantidad de almidón/grasa vegetal en el queso y obtener valores de textura similares a aquellos sin aditivos reportados. La figura 10 muestra que el perfil de textura entre las dos clases de quesos antes mencionadas es similar. No obstante, el fundido en los quesos adicionados con almidón es menor a pesar de tener mayor humedad. (Ver apartado 4. 2. 3). Así, la textura similar puede atribuirse al efecto del almidón y la grasa vegetal, al retener humedad el primero, y aportar dureza la segunda. Se observa que los valores del perfil de textura más bajos se hallan en la clase “No declara ingredientes” debido muy probablemente a la cantidad de grasa en promedio que contiene este grupo que afectaría la estructura de la matriz proteica al interferir ésta en la interacción entre proteínas lo que conduce a la obtención de una matriz proteica débil.

Las proporciones de grasa y de humedad parecen tener una influencia sobre los parámetros del TPA, como se muestra en la figura 11.

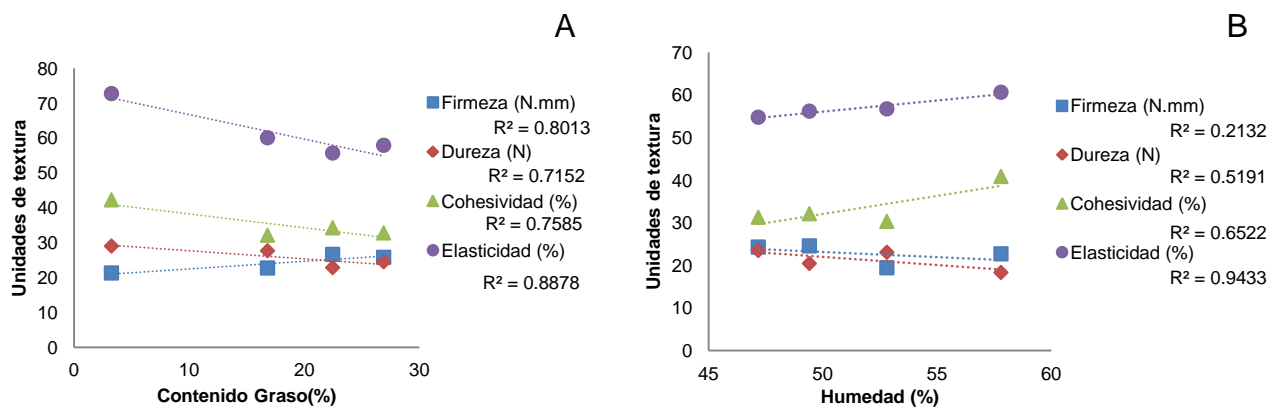


Figura 11. Muestra la firmeza, dureza, cohesividad y elasticidad para el contenido graso, clasificado por contenido graso, y humedad, clasificado por humedad.

En la figura 11, los datos correspondientes a los intervalos $\leq 15\%$, $> 30.1\%$, en contenido graso y el intervalo $\leq 46\%$ en contenido de humedad se eliminaron por contener valores atípicos.

Con respecto al contenido de grasa (Figura 11A), se aprecia una relación proporcional entre ésta y la firmeza, y una relación inversamente proporcional con las 3 variables restantes. El aumento en la firmeza a medida que aumenta el contenido de grasa pudiera explicarse a partir del punto de fusión de ésta ya que la prueba se realizó a $19\text{ }^{\circ}\text{C}$; a esta temperatura la grasa es sólida lo cual pudiera aportar firmeza a la estructura. Como reportan Bhaskaracharya y Shah (2001) se requiere un incremento de la energía para deformar al queso conforme se incrementa el contenido graso. La firmeza y la elasticidad son los parámetros de textura que mejor se correlacionan al contenido graso, $R^2=0.8013$ y $R^2=0.8878$ respectivamente. La dureza decrece al aumentar el contenido graso Bhaskaracharya y Shah (2001) reportan que conforme disminuye la grasa en la muestra, el queso se vuelve más duro y gomoso, además que tiende a fundir menos.

La humedad (Figura 11B) parece no tener una gran influencia sobre 3 de los parámetros de textura (firmeza, cohesividad y dureza) dados sus bajos valores de correlación; pero influye sobre la elasticidad a través del descenso del contenido de grasa.

A pesar de que los resultados no revelan un comportamiento homogéneo en los parámetros evaluados, debido a la composición química tan heterogénea encontrada, sí aportan información sobre el efecto de los componentes del queso Oaxaca.

En general, el comportamiento de los parámetros de textura se tratan de explicar mediante un comportamiento lineal donde la relación es directa o inversamente proporcional entre variables (dependiente e independiente) como se muestra en la figura 11 (A y B). El análisis de textura en los quesos control no parece regirse por un comportamiento lineal como se observa en la figura 12.

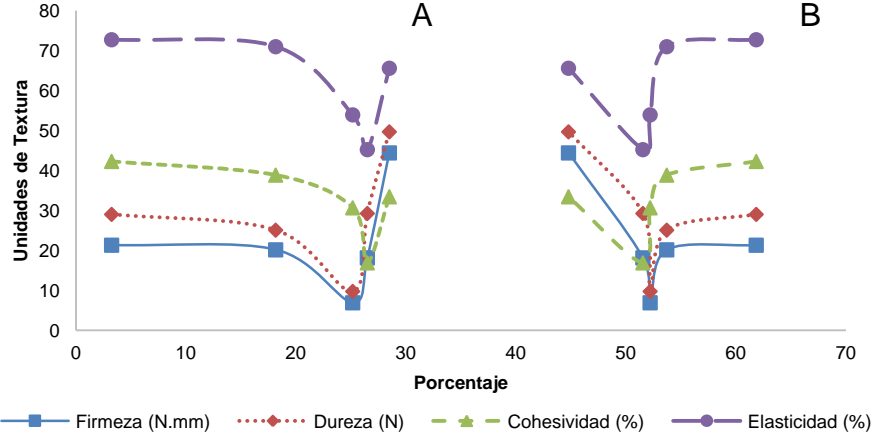


Figura 12. Muestra los distintos parámetros de textura contra el contenido graso (A) y la humedad en queso (B) ambos expresados como porcentaje en quesos control.

Los parámetros de textura de los quesos control presentan un descenso abrupto en un porcentaje graso entre 25.2 % y 26.5 % y de humedad entre 51.5 % y 52.2 %, luego aumentan (figura 12). Un comportamiento similar se observa cuando los parámetros de textura se relacionan con el fundido (Figura 13). En la figura, el eje de las ordenadas se expresa en escala logarítmica para facilitar la representación de los datos. La dureza y firmeza en los quesos control presentan un aumento de sus valores, después de alcanzar el punto mínimo, cuando el fundido alcanza el máximo valor (recuadro rojo).

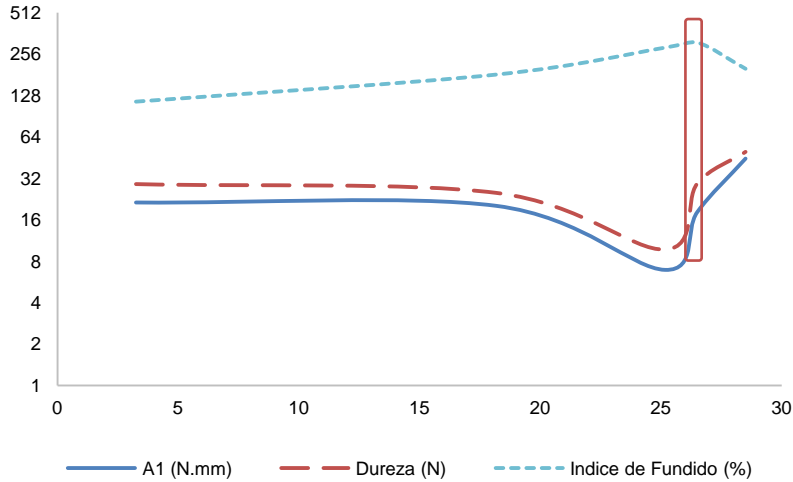


Figura 13. Comportamiento del fundido, firmeza y dureza, en función del contenido graso en queso control.

El comportamiento del fundido en los quesos control, mostrado en la figura 13, pudiera explicarse considerando que el queso Oaxaca es una matriz proteica formada por fibras entre las cuales hay grasa incluida así como lacto suero. El grosor de las fibras depende de la cantidad de grasa en la matriz: a mayor cantidad de grasa, menor grosor ya que la grasa evita que las proteínas formen enlaces entre ellas. El fundido aumentaría a medida que aumenta el contenido de

grasa mientras las fibras puedan retener la grasa durante el fundido. A un contenido de grasa muy elevado, el contenido de proteína desciende y también el espesor de las fibras de tal forma que al fundir el queso la grasa se escapa sin arrastrar con ella a las fibras de proteína colapsadas.

En los parámetros de textura (firmeza y dureza) pudiera explicarse de la misma forma: estos parámetros dependen de la fuerza de las fibras, así a medida que aumenta la grasa, la firmeza y dureza descienden hasta llegar a un mínimo (en el que la firmeza de las fibras sería igual a la firmeza intrínseca de la grasa) que corresponde al máximo valor de fundido, luego aumentan porque ahora la firmeza y dureza está dada por el aumento de grasa (en lugar de las fibras proteicas).

4. 4. Análisis Estadístico

Los resultados del ANOVA efectuado (1factor, 5niveles de grasa, 5 niveles de humedad, 4 niveles de ingredientes) se muestran en el cuadro 6. Se utiliza un valor de significancia del 5% ($\alpha=0.05$) para los parámetros siguientes: el índice de fundido, la humedad perdida durante el fundido, dureza, firmeza, cohesividad y elasticidad. Dichas variables dependientes mostraron tener una distribución normal y homocedasticidad de varianza, dos supuestos del ANOVA. Los resultados de los ANOVA de un factor se muestran en el cuadro 6 que contiene el valor P de cada estudio.

Cuadro 6. Resultados del ANOVA de los factores considerados en queso Oaxaca comercial y las variables de respuesta estudiadas.

Variable Factor	Índice de Fundido	Humedad perdida durante el fundido	Firmeza	Dureza	Cohesividad	Elasticidad
Grasa	✔ 0.0494	✘ 0.2855	✘ 0.5482	✘ 0.1865	✔ 0.0486	✔ 0.0475
Humedad	✘ 0.7064	✘ 0.5242	✘ 0.1622	✘ 0.306	✘ 0.2837	✘ 0.2367
Ingredientes	⚠ 0.0848	✔ 0.006	✘ 0.1303	✘ 0.4867	✔ 0.0178	✔ 0.0352

Leyenda		
✔	Significativo ($\alpha \leq 0.05$)	⚠
⚠	Significativo ($\alpha \leq 0.1$)	✘
✘	No significativo ($\alpha > 0.1$)	

El ANOVA sólo indica que una o varias medias de los niveles del factor de estudio son distintas. A continuación se muestran los resultados de las pruebas de múltiples rangos para las variables que tuvieron medias significativamente diferentes en el ANOVA, para el cual se empleó el método de Waller – Duncan, para comparación de medias con distinto número de muestras (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Prueba de múltiples rangos de Waller – Duncan que muestra las medias de cada variable dependiente significativa para el factor Grasa.

Nivel de grasa	Muestras	Índice de Fundido (%)	Elasticidad (%)	Cohesividad (%)	Humedad perdida durante el fundido (%)
> 30.1 %	2	173 ab	46.7 a	17.9 a	51.1 b
25.1 % - 30 %	8	218 b	60.9 b	36.3 b	46.2 ab
20.1 % - 25 %	9	192 b	56.6 ab	31.6 b	43.7 ab
15.1 % - 20 %	5	175 ab	55.5 ab	28.0 ab	43.3 ab
≤ 15 %	5	146 a	55.0 ab	35.4 b	37.2 a

Los grupos "a" y "b" representan subconjuntos de medias estadísticamente similares.

Cuadro 8. Medias similares para las variables dependientes que resultaron significativas en el ANOVA elaborado por Ingredientes declaradas en las muestras.

Nivel de grasa	Muestras	Elasticidad (%)	Cohesividad (%)	Humedad perdida durante el fundido (%)
Almidón y/o Grasa Vegetal	5	53.4 ab	32.1 b	36.7 a
No declara Ingredientes	4	47.6 a	19.8 a	53.8 b
Sin Aditivos Reportados	12	58.9 b	35.2 b	44.4 a
Sólidos Lácteos	8	59.4 b	33.2 b	42.0 a

Los subgrupos similares se denotan por "a" y "b".

Las variables que fueron afectadas, estadísticamente, por el factor grasa fueron el índice de fundido, cohesividad y elasticidad. La humedad como factor resultó no tener ningún efecto sobre las variables estudiadas. El factor ingredientes tuvo un efecto en la humedad perdida durante el fundido, la cohesividad y la elasticidad. Se hace hincapié en el valor P que tuvo el factor ingredientes en el índice de fundido (0.0848) pues explicaría parte de la varianza del fundido de muestras comerciales.

V. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenido en este estudio conduce a hacer las siguientes conclusiones:

1. El queso Oaxaca comercial analizado presenta un índice de fundido muy variable.
2. Cuando los quesos son agrupados por niveles de grasa y humedad, se observa una tendencia a aumentar el índice de fundido conforme se incrementa el contenido de grasa mientras que éste no se ve afectado por el contenido de humedad.
3. La textura no presentó una tendencia definida en los quesos Oaxaca comerciales.
4. Con excepción de la firmeza, todos los parámetros descienden al aumentar la proporción de grasa en el queso.
5. En el queso control, todos los parámetros de textura descienden al incrementarse la grasa.
6. Existe un área de oportunidad aún no explorada por la legislación mexicana en el mercado de los quesos de imitación. Su definición y reglamentación ayudaría a los consumidores a escoger el producto de su agrado.

VI. SUGERENCIAS

Dada la significancia del factor ingredientes en el índice de fundido, en la cohesividad, elasticidad y probablemente en la humedad perdida durante el fundido, se recomienda realizar el estudio con queso Oaxaca elaborado sin aditivos, queso Oaxaca elaborado con grasa vegetal, queso elaborado con almidón, y queso elaborado con caseinatos o con leche en polvo. Lo anterior con el fin de discernir los efectos de estos ingredientes y la manera en la que lo hacen. La determinación del contenido proteico en queso Oaxaca por Kjeldahl (no micro Kjeldahl) y la medición de pH en muestra a la hora de efectuar las pruebas de fundido y de textura. Lo anterior dejando pasar el mismo tiempo de almacenamiento(1 semana en refrigeración a 4 °C) para limitar el efecto de la proteólisis.

VII. REFERENCIAS

- Arnott, D. R., Morris, H. A., Combs, W. B. (1957) Effect of Certain Chemical Factors on the Melting Quality of Process Cheese. *Journal of DairyScience*, **40**, 957.
- Awad, S., Hassan, A. N., Muthukumarappan, K. (2005) Application of Exopolysaccharide-Producing Cultures in Reduced Fat Cheddar Cheese: Texture and Melting Properties. *Journal of DairyScience*, **88**, 4204-4213.
- Bachmann, H., Bachmann, P. (2001) Cheese analogues: a review. *International DairyJournal*, **11**, 505-515.
- Bertola, N. C., Bevilacqua, A. E., Zaritzky, N. E. (1996) Textural changes and proteolysis of low - moisture Mozzarella cheese frozen under various conditions. *Lebesm.-Wiss. U.-Technol.*, **29**, 470-474.
- Bhaskaracharya, R. K., Shah, N. P. (2001) Texture and microstructure of skim milk mozzarella cheeses made using fat replacers. *TheAustralianJournal of DairyTechnology*, **56**, 9-14.
- Bourne, M. C. (1982) Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. *AcademicPress*, New York.
- Candioti, M. C., Alonso, M. J., Hynes E. (2007). Influence of residual milk-clotting enzyme and proteolysis on melting properties of soft cheese. *International Journal of DairyTechnology*, **60**, 175-181.
- Cunha, C. R., Viotto, W. H. (2010). Casein Peptization, Functional Properties, and Sensory Acceptance of Processed Cheese. *Journal of FoodScience*, **75**, 113-120.
- Eck, A. (1990). El queso. *Ediciones Omega*, S. A., Barcelona, España.
- Kapoor, R., Metzger, L. E. (2008). Process Cheese: Scientific and Technological Aspects-A Review. *ComprehensiveReviews in FoodScience and Food Safety*, **12**, 194-214.
- Kiely, L. J., YcConnell, S. L., Kindstedt, P. S. (1991). Observations on the Melting Behavior of imitation Mozzarella Cheese. *Journal of DairyScience*, **74**, 3568-3572.
- Lucey, J. A., Johnson, M. E., Horne, D. S. (2003) Invited Review: Perspectives on the Basis of Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of DairyScience*, **86**, 2725-2743.
- Metzger, L. E., Barbano, D. M. (1999). Measurement of Postmelt Chewiness of Mozzarella Cheese. *Journal of DairyScience*, **82**, 2274-2279.
- NMX-F-083-1986 "ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS"
- NMX-F-100-1984 "ALIMENTOS. LÁCTEOS. DETERMINACIÓN DE GRASA BUTÍRICA EN QUESOS"
- NMX-F-733-COFOCALEC-2010
- NOM-086-SSA1-1994 "BIENES Y SERVICIOS. ALIMENTOS Y BEBIDAS NO ALCOHOLICAS CON MODIFICACIONES EN SU COMPOSICION. ESPECIFICACIONES NUTRIMENTALES"
- NOM-121-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. QUESOS: FRESCOS, MADURADOS Y PROCESADOS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS.

- PROY-NMX-F-733-COFOCALEC-2008
- Richardson G. H. (1985). Standard methods for the examination of dairy products. 15th edition. Am. Publ. Health Association. USA.
- Robinson, R. K. (1993) Modern Dairy Technology, Volume 2, Advances in Milk Production. 2nd Edition. *Blackie Academic & Professional, Printed by University Press, Cambridge*, England.
- Rosenthal, A. J. (2001) Capítulo 1: Relación entre medidas instrumentales y sensoriales de la textura de los alimentos. Textura de los Alimentos, Medida y Percepción. *Acribia*, S. A., Zaragoza, España.
- Sameen, A., Anjum, F. M., Huma, N., Nawaz, H. (2008) Quality Evaluation of Mozzarella Cheese from Different Milk Sources. *Pakistan Journal of Nutrition*, **7**, 753-756.
- Scott, R. (1986) Cheesemaking Practice. *Elsevier Applied Science Publishers LTD*, Great Britain.
- Smewing J. (2001) Capítulo 10: Hidrocoloides. Textura de los Alimentos, Medida y Percepción. *Acribia*, S. A., Zaragoza, España.
- Walstra, P., *et al.* (2001). Ciencia de la Leche y Tecnología de Productos Lácteos, *Acribia*, S. A., Zaragoza, España.
- Wang, H. H., Sun, D. W. (2002a). Melting characteristics of Cheese: analysis of effects of cooking conditions using computer vision technology. *Journal of Food Engineering*, **51**, 305-310.
- Wang, H. H., Sun, D. W. (2002b). Melting characteristics of Cheese: analysis of effect dimensions using computer vision technology. *Journal of Food Engineering*, **52**, 279-284.
- Yang, C. S. T., Taranto, M. V. (1982) Textural properties of Mozzarella Cheese Manufactures from Soybeans. *Journal of Food Science*, **47**, 906-910.
- Ye, A., Hewitt, S., Taylor, S. (2009) Characteristics of rennet-casein-based model processed cheese containing maize starch: Rheological properties, meltabilities and microstructures. *Elsevier Food Hydrocolloids*, **23**, 1220-1227.
- Zalazar, C. A., Zalazar, C. S., Bernal, S., Bertola, N., Bevilacqua, A., Zaritzky, N. (2002). Effect of moisture level and fat replacer on physicochemical, rheological and sensory properties of low fat soft cheeses. *International Dairy Journal*, **12**, 45-50.
- Zisu, B., 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, pre-acidification and EPS starter. *International Dairy Journal*, **15**, 957-972.

VIII. ANEXOS

8. 1. Análisis Bromatológicos

8. 1. 1. Determinación del contenido de humedad

Se basa la siguiente determinación en la norma NMX-F-083-1986 “ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS”, que a continuación se muestra:

Aparatos y equipo

- Balanza con sensibilidad de 0.1 mg;
- Cápsulas de aluminio
- Horno o estufa eléctrica con control de temperatura
- Desecador
- Pinzas para crisol
- Material común de laboratorio

Preparación de la muestra

La muestra de queso es picada completamente en pedazos de menos de 5 mm de espesor y almacenados en un recipiente hermético hasta su uso.

Procedimiento

Pesar de 2 a 3 gramos de muestra en la cápsula previamente tarada; colocar la cápsula y la tapa en la estufa, precalentada a 103 °C y con mínimas variaciones, durante 18 horas.

Tapar la cápsula y transferirlas al desecador; dejar enfriar a la temperatura ambiente y pesar. Repetir el procedimiento indicado hasta obtener peso constante.

Cálculos

$$\% \text{ en Humedad} = \frac{(P - P_1)}{P_2} \times 100$$

En donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P2 = Peso de la muestra en gramos.

La prueba fue realizada por triplicado y los resultados mostrados serán solo los promedios de las tres lecturas.

8. 1. 2. Determinación del contenido graso en quesos.

El método se basa en aquel descrito en la norma NMX-F-100-1984 "ALIMENTOS. LÁCTEOS. DETERMINACIÓN DE GRASA BUTÍRICA EN QUESOS", con algunas adaptaciones debidas a la heterogeneidad de las muestras en cuanto a su composición se refiere.

Reactivos

- Ácido sulfúrico 94%.
- Alcohol isoamílico.

Materiales

- Embudo con llave de paso para liberar 1.0 cm³
- Embudo con llave de paso para liberar 10.0 cm³
- Butirómetro de Gerber-Van Gulik para quesos
- Taponés para butirómetro
- Tapa perforada para queso
- Material común de laboratorio

Aparatos y equipo

- Centrífuga para butirómetro Gerber
- Baño de agua que pueda mantener la temperatura regulable de 338 K \pm 1 K (65° C \pm 1° C).

Procedimiento

- Pesar 3 g \pm 0.001 g de queso y verter 3.5 cm³ de agua destilada, con el fin de humectar la muestra, la muestra se deja en refrigeración (4 °C) por 24 h.
- Meter la muestra de queso dentro del butirómetro con la boca pequeña cerrada y, una vez ya introducida la muestra, cerrar la boca grande.
- Por la abertura superior, agregar el butirómetro 10 cm³ de ácido sulfúrico de tal manera que recubra todo el queso.
- Tapar la abertura y agitar cuidadosamente, para disolver todas las partículas de queso.
- Agregar 1 cm³ de alcohol isoamílico o amílico y agitar.
- Terminar de llenar el butirómetro con agua destilada, hasta que el volumen llegue aproximadamente tres cuartas partes de la columna graduada.
- Tapar la abertura superior meter a baño de agua (65 °C) por 5 minutos.
- Mezclarlo antes de centrifugar a 1200 r.p.m., durante 5 minutos.
- Volver a meter el butirómetro al baño de agua y dejarlo ahí 10 minutos.
- Hacer la lectura llevando la base de la columna de grasa exactamente al cero, por medio de presión en el tapón del butirómetro.

Expresión de resultados

La lectura observada en la escala indica directamente la cantidad en porciento de la grasa contenida en el queso.

8. 2. Estandarización y descripción de la Prueba de Fundido.

Para el queso Oaxaca el tiempo de cocción citado (5 minutos) era lo suficientemente alto como para provocar la carbonización de los bordes de la muestra en calentamiento, evitando el correcto flujo del queso fundido. Para evitar el efecto anterior se realizó una prueba preliminar, seleccionando así 3 minutos como tiempo de cocción. La temperatura se conservó por ser similar a aquella empleada en la mayoría de los establecimientos de comida para la cocción (pizzerías, anafres de los puestos ambulantes de quesadillas y parrillas de los locales de garnachas).

Posteriormente se pesó, en contenedores plásticos con taparrosca de 3.5 cm de diámetro por 3 cm de altura, $5 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$ de muestra y se sometían a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ por alrededor de 24 h. Una vez ya transcurrido el día, las muestras son forzadas en un cilindro de cobre con un diámetro interno de $3.5 \text{ cm} \pm 0.0075 \text{ cm}$ (cople de cobre para tubo de cobre de 1" 3/8) con ayuda de un émbolo elaborado en cemento; lo anterior se realiza sobre una caja de Petri.

Las muestras se colocaron sobre una bandeja de aluminio y se introdujeron en un horno de convección a gas, precalentado a $230 \text{ }^\circ\text{C}$, por 3 minutos. Agotado el tiempo se dejan enfriar las muestras por 30 minutos. Las muestras entonces eran escaneadas con una resolución de 300 puntos por pulgada (PPP).

Se modificó la prueba en su parte final, y las muestras salidas del horno, una vez frías, son escaneadas y, las imágenes resultantes, procesadas en el software "j image" versión 1.44 desarrollado por National Institutes of Health de Estados Unidos y que puede ser descargado en la siguiente dirección <http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html> (27 de Septiembre de 2011).

8. 3. Tabla de Resultados

8. 3. 1. Índice de Fundido

Muestra	Humedad	Grasa	Índice de Fundido	Humedad perdida durante el fundido
	Promedio (%)			
504	51.89	31.50	146.39	45.11
685	49.38	23.33	185.42	45.15
187	47.51	23.50	185.13	37.54
290	56.72	14.50	159.91	32.86
645	48.17	17.83	154.54	37.87
708	45.02	26.75	166.81	34.97
749	53.11	12.75	148.61	35.78
543	53.02	27.00	332.57	61.44
724	56.12	16.50	201.51	49.05
409	52.50	20.04	164.25	35.04
277	54.14	14.83	124.59	34.48
659	46.99	23.25	173.62	38.99
668	49.00	24.83	228.20	43.82
651	47.03	33.33	215.34	57.13
857	46.34	25.54	249.67	48.39
344	53.41	19.00	187.46	50.10
888	52.44	24.17	278.91	63.79
767	50.29	20.75	176.77	38.22
246	50.23	20.31	151.01	40.22
233	50.53	16.00	149.85	35.79
487	47.49	27.42	214.12	43.03
110	54.84	15.00	138.97	40.00
299	54.18	18.00	199.69	43.76
835	51.68	23.50	251.55	50.65
727	44.79	28.50	199.66	41.67
309	47.79	25.67	237.28	51.22
829	52.54	14.50	174.77	42.68
193	48.20	25.31	205.21	47.19
405	44.94	26.83	199.93	42.01

8. 3. 2. Resultados del análisis de perfil de textura

Muestra	Humedad (%)	Contenido Graso (%)	Firmeza (N.mm)	Dureza (N)	Adhesividad (N.mm)	Pegajosidad (N)	Cohesividad (%)	Elasticidad (%)
504	51.89	31.50	6.41	6.53	-0.24	-0.07	23.93	53.28
685	49.38	23.33	42.63	47.18	-1.08	-1.97	24.76	56.88
187	47.51	23.50	16.61	20.73	-0.21	-0.54	32.76	59.72
290	56.72	14.50	34.28	11.56	-0.56	-0.47	47.32	51.95
645	48.17	17.83	22.83	27.80	-2.60	-3.06	21.55	44.84
708	45.02	26.75	53.92	28.56	-0.26	-0.59	45.34	59.81
749	53.11	12.75	25.47	21.19	-0.38	-0.64	26.88	50.73
543	53.02	27.00	26.32	33.31	-0.78	-1.02	34.51	63.54
409	52.50	20.04	26.26	33.51	-1.25	-2.40	30.02	59.88
277	54.14	14.83	32.94	40.85	-0.63	-1.34	36.97	65.57
659	46.99	23.25	34.94	39.55	-0.30	-0.75	31.07	59.56
668	49.00	24.83	13.07	14.99	-0.33	-0.55	28.78	59.34
651	47.03	33.33	15.22	16.07	-0.23	-0.47	11.91	40.05
857	46.34	25.54	22.08	15.97	-0.73	-0.73	38.78	58.79
344	53.41	19.00	31.63	36.01	-1.17	-1.52	35.16	63.15
888	52.44	24.17	20.06	24.81	-0.49	-0.99	23.50	49.36
767	50.29	20.75	59.72	19.70	-0.39	-0.41	48.18	51.97
246	50.23	20.31	17.51	15.80	-0.57	-0.83	27.85	46.08
233	50.53	16.00	16.38	21.92	-0.67	-1.20	27.19	58.55
487	47.49	27.42	20.30	22.45	-0.26	-0.47	33.85	58.29
110	54.84	15.00	12.47	14.36	-0.23	-0.57	32.98	57.18
835	51.68	23.50	14.67	18.64	-0.56	-0.72	37.57	67.05
727	44.79	28.50	44.39	49.66	-0.20	-0.27	33.41	65.57
309	47.79	25.67	16.62	12.20	-0.71	-0.75	32.29	50.34
829	52.54	14.50	14.22	9.13	-0.58	-0.59	32.83	49.57
193	48.20	25.31	13.16	14.53	-0.13	-0.37	34.99	62.29
405	44.94	26.83	23.14	25.52	-0.76	-1.04	37.58	68.85