



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA
DE ALMIDÓN DE MAÍZ Y CONCENTRADO DE PROTEÍNA
DE SUERO DE LECHE OBTENIDA POR EXTRUSIÓN
PARA SU APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE UN
ANÁLOGO DE QUESO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

ELOISA SERVÍN MEDINA

DIRIGIDA POR

Dra. SILVIA L. AMAYA LLANO

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2009.

FACULTAD DE
QUIMICA



BIBLOTECA

No. Adq. J50986

No. Titulo

Clas. TS G37.3

S4925



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA
DE ALMIDÓN DE MAIZ Y CONCENTRADO DE
PROTEÍNA DE SUERO DE LECHE OBTENIDA POR
EXTRUSIÓN PARA SU APLICACIÓN EN EL
DESARROLLO DE UN ANÁLOGO DE QUESO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

ELOISA SERVIN MEDINA

DIRIGIDA POR

Dra. SILVIA L. AMAYA LLANO

SINODALES

Dra. SILVIA L. AMAYA LLANO.
DIRECTOR

Dr. FERNANDO MARTÍNEZ BUSTOS
SINODAL

Dr. EUARDO CASTAÑO TOSTADO
SINODAL

Dra. CLARA ESCAMILLA SANTANA
SINODAL

GRACIAS... A DIOS Por la vida que me regala, porque día a día me hace ver que Él es quien me sostiene.

A mis padres, por la confianza que me tienen, por el ejemplo que me dan.

A mis hermanas, por el apoyo incondicional, por todos los momentos compartidos.

A mis abuelos, por el cariño inagotable, por su amor a la vida.

Porque en Él todo es posible... carpe diem.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, por la oportunidad que me dió de realizar mis estudios de licenciatura.

A CONCYTEC por la beca otorgada durante la realización de la tesis.

Al CINVESTAV-QRO por la oportunidad que me dieron para realizar análisis para esta tesis.

A la Dra. Silvia Amaya Llano por el apoyo y la confianza.

Al Dr. Fernando Martínez Bustos por el apoyo y paciencia.

Al Dr. Eduardo Castaño Tostado, por sus consejos, por su apoyo.

A la Dra. Clara Escamilla, por su apoyo y paciencia.

A mis compañeros del área de alimentos, San, Liliana, Diana, Marie, Víctor, Israel, Alfredo, Christian por sus muestras de amistad, por esos grandes momentos.

A Flor, Claudia, Maely por los momentos compartidos a los largo de esta aventura, por su amistad y apoyo.

A esos amigos de camino, Roger, Ale, Carmen, Julio, Alex, Agustín, Gerardo, Armando, Said, Gaby, Blanca, Sergio, Dulce, Paola, Víctor, Jorge, Chava, por dejarme compartir no solo su tiempo sino su persona. Por las lecciones aprendidas. Por las palabras de aliento.

A los Neo, por su apoyo y confianza

A Marcela Gaytán, Juan Veles y Edmundo Gutiérrez por el apoyo técnico brindado en CINVESTAV-QRO

INDICE GENERAL

Contenido	Página
INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1. Almidón	3
II.1.1. Generalidades	3
II.1.2. Estructura química.	4
II.1.2.1. Amilosa	4
II.1.2.2. Amilopectina	5
II.1.3. Estructura de los gránulos de almidón	6
II.1.4. Cambios estructurales del almidón	7
II.1.4.1. Gelatinización	7
II.1.4.2. Gelificación	9
II.1.4.3. Retrogradación	11
II.2. Proteínas de la leche	12
II.2.1. Generalidades	12
II.2.2. Caseínas	13
II.2.3. Proteínas del suero de leche	15
II.2.3.1. α -Lactoalbumina	17
II.2.3.2. β -Lactoglobulina	17
II.3. Extrusión	18
II.3.1. Generalidades	18
II.3.2. Tipos de extrusor	20
II.3.3. Cambios que sufren los materiales durante la extrusión	21
II.3.3.1. Almidón	21

Contenido	Página
II.3.3.2. Proteínas	21
II.4. Análogos de queso	21
II.4.1. Generalidades	21
II.4.2. Beneficios	23
II.4.3. Materias Primas usadas en la producción de análogos de queso.	24
II.4.3.1. Caseína y sus derivados	24
II.4.3.2. Grasas y aceites	25
II.4.3.3. Agua	25
II.4.3.4. Emulsificantes	25
II.4.3.5. Sales fundentes	26
II.4.3.6. Almidones	26
II.4.3.7. Otros ingredientes	27
II.4.4. Evaluación del análogo de queso	27
III. HIPÓTESIS	30
IV. OBJETIVOS	31
IV.1. General	31
IV.II. Específicos	31
V. METODOLOGÍA	32
V.1. Materiales	32
V.1.1. Equipo	32
V.1.2. Reactivos	33
V.2. Métodos	34
V.2.1. Preparación de la materia prima	34
V.2.2. Proceso de Extrusión	34
V.2.3. Caracterización de los extrudidos	35
V.2.3.1. Índice de expansión	35
V.2.3.2. Densidad aparente	35
V.2.4. Caracterización de los extrudidos pulverizados	36
V.2.4.1. Color	36

Contenido	Página
V.2.4.2. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) a 30 °C y a 75 °C	36
V.2.4.3. Perfiles de viscosidad RVA	37
V.2.4.4. Evaluación de la firmeza de gel	38
V.2.5. Desarrollo del producto	38
V.2.5.1. Elaboración de la formulación base (control) del análogo de queso tipo manchego.	38
V.2.5.2. Elaboración del análogo de queso adicionado con mezcla de almidón-CPS	39
V.2.6. Análisis de los quesos	39
V.2.6.1. Análisis de perfil de textura	39
V.2.6.2. Prueba de fundido	39
V.2.7. Análisis sensorial del nuevo producto	40
V.3. Diseño Experimental	41
V.3.1. Estudio de Extrusión	41
V.3.2. Desarrollo del queso control	42
V.3.3. Desarrollo de un nuevo producto	43
VI. RESULTADOS	45
VI.1. Caracterización de los extrudidos.	45
VI.1.1. Apariencia física.	45
VI.1.2. Índice de expansión	46
VI.1.3. Densidad Aparente	46
VI.2. Caracterización de los extrudidos pulverizados.	47
VI.2.1. Color	47
VI.2.2. Índice de absorción de agua (IAA) y solubilidad en agua (ISA) a 30 y 75°C.	47
VI.2.3. Fuerza de penetración al gel	48
VI.3. Desarrollo del producto	50

Contenido	Página
VI.3.1. Selección de la formulación base (control) del análogo de queso tipo manchego.	50
VI.3.1.1. Fundido	51
Cuadro 17. Estimados para la respuesta de fundido del queso control	51
VI.3.1.2. Análisis de perfil de textura.	52
VI.3.1.2.1. Dureza	52
VI.3.1.2.1. Cohesividad	53
VI.3.2. Selección del análogo de queso adicionado con mezcla de almidón de maíz-CPS.	56
VI.4. Análisis de componentes principales (ACP) para el estudio del diseño de mezclas.	58
VI.4.1. Rendimiento	60
VI.4.2. Fundido	62
VI.4.3. Análisis de perfil de textura.	63
VI.4.3.1. Dureza	63
VI.4.3.2. Elasticidad	66
VI.4.4. Análisis sensorial.	67
Cuadro 29. Tratamientos evaluados en el análisis sensorial.	67
VII. DISCUSIÓN	79
VII.1. Caracterización de los extrudidos.	79
VI.1.1. Apariencia física.	79
VI.1.2. Índice de expansión	79
VI.1.3. Densidad Aparente	80
VI.2.1. Color	81
VI.1.5. Índice de absorción de agua (IAA) y solubilidad en agua (ISA) a 30° C y 75°C.	81
VI.2.2 Índice de absorción de agua a 30°C y 75°C	81

Contenido	Página
VI.2.3 Índice de solubilidad en agua a 30°C y 75°C	82
VI.2.4. Fuerza de penetración al gel	83
VI.3. Desarrollo del producto	84
VI.3.1. Selección de la formulación base (control) del análogo de queso tipo manchego.	84
VI.3.1.2. Análisis de perfil de textura.	85
VI.3.1.3. Rendimiento.	86
VI.3.2. Selección del análogo de queso adicionado con mezcla de almidón de maíz-CPS.	86
VI.4.1. Rendimiento	88
VI.4.2. Fundido	89
VI.5. Análisis sensorial	92
VIII. CONCLUSIÓN	97
IX. BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXO 1. Cuestionario para la evaluación sensorial a consumidores.	102

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página	
1	Propiedades de las proteínas de leche (Fox y McSweeney, 1998).	13
2	Formulación base del análogo de queso.	39
3	Factores y niveles de variación del diseño experimental completo de dos factores.	41
4	Diseño experimental completo del estudio de extrusión con dos factores.	41
5	Factores y niveles de variación del diseño experimental de cuatro factores.	42
6	Diseño experimental para la obtención de la formulación del queso control con cuatro factores.	42
7	Porcentajes de los ingredientes del diseño de mezclas.	43
8	Diseño para la sustitución de grasa y proteína por mezcla de CPS y almidón en análogo de queso manchego.	43
9	Diseño de mezclas para la obtención del análogo de queso manchego.	44
10	Resultados de la evaluación del índice de expansión de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.	46
11	Resultados de la evaluación de la densidad aparente de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.	46
12	Resultados de la evaluación del parámetro de color de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.	47
13	Resultados de la evaluación del índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA) a 30° C y a 75°C.	47

Cuadro	Página
14 Resultados de la evaluación de la fuerza de penetración al gel (en Newtons) de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.	48
15 Resultados de la evaluación del perfil de viscosidad de los productos extrudidos. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.	48
16 Resultados de los factores estudiados para la selección del queso control.	50
17 Estimados para la respuesta de fundido del queso control	51
18 Estimados sobre la respuesta de dureza en la formulación de un análogo de queso control.	52
19 Estimados sobre la respuesta de cohesividad en la formulación de un análogo de queso control.	53
20 Estimados sobre la respuesta de adhesividad en la formulación de un análogo de queso control	55
21 Resultados de las combinaciones siguiendo el diseño de mezclas para la elección de la formulación de un análogo de queso manchego.	56
22 Componentes principales en correlación.	58
23 Vectores propios	59
24 Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de rendimiento en la formulación de un análogo de queso manchego.	60
25 Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de fundido en la formulación de un análogo de queso manchego.	62
26 Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de dureza en la formulación de un análogo de queso manchego.	63

27	Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de dureza en la formulación de un análogo de queso manchego excluyendo el dato 1.	65
28	Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de elasticidad en la formulación de un análogo de queso.	66
29	Tratamientos evaluados en el análisis sensorial.	67
30	Información demográfica de los consumidores encuestados según edad.	68
31	Preferencias de los consumidores según la forma de consumo de queso	69
32	Preferencias por los diferentes tratamientos según el cuestionario de los consumidores.	70
33	Probabilidades obtenidas según prueba de Pearson en las tablas de contingencia de los resultados de los cuestionarios a consumidores.	71
34	Correspondencia de los objetos con los tratamientos estudiados en el mapa de preferencia.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Componentes del almidón (deMan, 1999)	5
2 Estructura del almidón (Kokini y Moraru, 2003)	7
3 Viscoamilograma de almidón (Kent y Evers, 1994)	9
4 Partes de un extrusor de tornillo simple.	19
5 Expansión de extrudidos (Kokini y Moraru, 2003).	20
6 Representación esquemática de la estructura de un queso natural	23
7 Curva típica de análisis de Perfil de Textura	28
8 Apariencia física de los extrudidos	45
9 Viscoamilogramas de los productos extrudidos pulverizados.	49
10 Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre el fundido del análogo de queso control.	51
11 Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre la dureza del análogo de queso control.	52
12 Gráfica del efecto de las interacciones de las sales fundentes sobre la dureza del análogo de queso control.	53
13 Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre la cohesividad del análogo de queso control.	54
14 Gráfica del efecto de las interacciones de las sales fundentes sobre la cohesividad del análogo de queso control.	54
15 Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre la adhesividad del análogo de queso control.	55
16 Área de estrellas de las diferentes mezclas	58
17 Gráfica de componentes principales	59
18 Gráfica de dispersión del rendimiento de los tratamientos evaluados en la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.	60
19 Gráfica de correlación entre el rendimiento y la cantidad de caseína para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.	61

Figura	Página
20 Gráfica de correlación entre el rendimiento y la cantidad de agua para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.	61
21 Gráfica del efecto de la interacción agua-caseína sobre el fundido en el desarrollo de un análogo de queso manchego.	62
22 Gráfica del efecto de la interacción grasa-caseína sobre el fundido en el desarrollo de un análogo de queso manchego.	63
23 Gráfica de correlación entre la dureza y la cantidad de caseína para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.	64
24 Gráfica de correlación entre la dureza y la cantidad de grasa para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.	64
25 Gráfica del efecto de la interacción agua-caseína sobre la dureza en el desarrollo de un análogo de queso manchego.	65
26 Gráfica del efecto de la interacción agua-mezcla sobre la dureza en el desarrollo de un análogo de queso manchego.	66
27 Gráfica del efecto de la interacción caseína-agua y caseína-mezcla la dureza en el desarrollo de un análogo de queso manchego.	67
28 Preferencias del tipo de queso de los consumidores encuestados.	72
29 Preferencias en la forma de consumo de queso de los encuestados.	72
30 Factores que afectan el consumo de queso de los encuestados.	73
31 Distribución de los 4 atributos evaluados en el análisis sensorial	74
32 Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias del producto en general.	75
33 Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias del sabor.	75
34 Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias de la textura.	76
35 Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias de la cremosidad.	76

Figura	Página
36 Preferencia general de muestras de queso manchego.	77
37 Mapa de preferencia del producto en general.	78

RESUMEN

Actualmente, las civilizaciones modernas están en la búsqueda de una vida más sana. Cada día existe una mayor preocupación por los alimentos que se consumen, esto es debido al alto índice de enfermedades crónicas que se presentan cotidianamente derivadas de los hábitos alimenticios de la población. La obesidad y los problemas cardiovasculares son enfermedades que aquejan no únicamente a personas mayores, sino a la población en general. México es un país con un alto índice de problemas de obesidad y además de desnutrición. Existe un amplio sector de la población mexicana que no tiene acceso a alimentos ricos en proteínas como son la carne y el queso, debido a su precio. Además de esto, se ha observado que la producción tradicional de quesos implica mayores costos, por lo cual, la búsqueda de nuevos ingredientes o nuevos procesos alimenticios es una alternativa. El objetivo de este trabajo es la preparación de mezclas de concentrado de proteína de suero con almidón de maíz, procesadas por extrusión para su incorporación en el desarrollo de un análogo de queso tipo manchego, buscando conservar sus características funcionales, además de reducir su contenido graso y los costos de producción. Se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas de las mezclas después de la extrusión, tales como densidad aparente, índice de absorción y solubilidad en agua, perfil de viscosidad y formación de gel. Se analizó que combinación de sales fundentes daba las características de un queso manchego para tomarlo como análogo de queso manchego control. Se utilizó un diseño de mezclas para determinar la cantidad de mezcla que puede ser incorporada como sustituto de grasa o caseína en el desarrollo del análogo de queso. Se realizaron análisis de perfil de textura, de fundido y sensoriales de los quesos desarrollados para seleccionar los mejores productos.

I. INTRODUCCIÓN

El consumidor se encuentra siempre en busca de la satisfacción de sus necesidades de la manera más simple y eficaz. En cuanto a su alimentación busca obtener los mejores productos, fáciles de preparar, con un alto valor nutricional y a un bajo costo. Por lo anterior, las empresas procesadoras de alimentos están siempre inmersas en una búsqueda constante de mejoras en los procesos para asegurar la fabricación de productos de alta calidad y bajo precio.

El consumidor esta cada día más consciente de que la base de una vida sana es una buena alimentación, por lo que busca productos con un balance nutricional adecuado. Por otro lado, se observa una tendencia hacia el consumo de productos bajos en grasas, de hecho, el mercado de productos "sanos" en México se ha desarrollado fuertemente en los últimos año, y se proyecta seguirá creciendo en los próximos años.

El queso es un producto que puede ser considerado como alto en contenido de proteína y grasa. El hecho de que algunos tipos de quesos presenten alto contenido de grasa, hace que su consumo se vea relacionado con problemas de obesidad o cardiovasculares. De ahí la importancia de buscar alternativas de productos con el mismo aporte proteico pero bajo contenido graso, sin que con esto se afecten las propiedades de sabor y textura del queso.

Hasta hace algunos años el lactosuero era considerado como un desecho derivado de la producción de queso, sin embargo en la actualidad las proteínas de suero se aprovechan en diversos productos, aportando características específicas de viscosidad por ejemplo, sin incrementar el costo de producción. El almidón es utilizado dentro de la formulación de muchos alimentos, aprovechando la capacidad de retención de agua y la viscosidad o grado de gelación que puede aportar a los mismos.

Los establecimientos de comida rápida, son cada día más populares y más demandados por la población en general. Estos buscan disminuir los costos de

producción utilizando ingredientes de bajo costo, entre los que se encuentran los quesos análogos por lo que es importante la investigación al respecto.

En este trabajo se expone el desarrollo de un análogo de queso manchego de bajo costo con un nivel proteico adecuado, aprovechando las características de textura que aportan mezclas extrudidas de almidón y el concentrado de proteína de suero con el fin de que puedan ser utilizadas como sustituto parcial de grasa y/o proteína. Se seleccionó ese tipo de queso por ser de alto consumo dentro del los quesos madurados en México, además de que posee un sabor fuerte lo cual ayuda a enmascarar los resabios generados por la adición de la caseína o el almidón.

II. ANTECEDENTES

II.1. Almidón

II.1.1. Generalidades

El almidón es el principal carbohidrato de reserva sintetizado por las plantas. Constituye una fuente de energía esencial para muchos organismos, especialmente el hombre (Luallen, 1988). Desde el punto de vista nutricional, el almidón es el principal componente de la dieta humana. Está constituido por gránulos en los componentes de las hojas verdes y en los amiloplastos, estos últimos son los órganos de almacenamiento en las semillas y tubérculos. Las fuentes más importantes de almidones son los granos de cereales (40 a 90%), leguminosas (30 a 50%), tubérculos (65 a 85%) y frutas inmaduras o secas (40 a 70%); estos porcentajes proporcionados en peso seco (María y Wenzel, 2006). Constituye el 73 % en materia seca del grano de maíz. Se encuentra en forma de gránulos de hasta 30 μm de diámetro (Kent y Evers, 1994). Está compuesto esencialmente (98 a 99%) de un polímero de D-glucosa. Químicamente, consiste de dos polímeros de diferente estructura, amilosa y amilopectina. La proporción de estos dos polímeros y su organización física dentro de la estructura granular le confieren propiedades fisicoquímicas y funcionales específicas para los diferentes almidones. Por lo tanto, la estructura del almidón necesita ser considerada en dos niveles distintos: a) a nivel molecular, que se refiere a la cantidad, estructura fina, tamaño y forma de las moléculas y b) a nivel de la estructura supermolecular del gránulo.

Este biopolímero constituye una excelente materia prima para modificar la textura, apariencia y consistencia de los alimentos, aunque no sólo la cantidad de almidón sino el tipo de almidón son críticos para conferir la textura deseada a un alimento en particular (Biliaderis, 1991). La variación de textura que presenta depende del grado de gelatinización que a su vez depende de la temperatura y cantidad de

agua presente durante su calentamiento. La digestibilidad también aumenta con la gelatinización (Kent y Evers, 1994).

II.1.2. Estructura química.

Por más de 100 años se ha reconocido que la mayor parte de los almidones están constituidos por las macromoléculas, amilosa y amilopectina. Una diferencia importante entre ambos polímeros es su tamaño, la amilopectina es mucho mayor, teniendo un peso molecular de entre 10^7 y 10^8 Da, mientras que las cadenas de amilosa tienen un peso molecular de entre 10^5 y 10^6 Da (Kossmann y Lloyd, 2000).

II.1.2.1. Amilosa

Como lo muestra la Figura 1, la amilosa es un polímero esencialmente lineal, formado por unidades de D-glucosa unidas por enlaces α -(1→4), sin embargo, se ha demostrado la presencia de cierta cantidad de enlaces α -(1→6) en esta macromolécula. Dichas ramificaciones se encuentran de manera espaciada e infrecuente, lo que permite observar que la amilosa se comporte como un polímero lineal (Bello y Tovar, 2001). La molécula de amilosa contiene, en promedio, de 500 a 6000 unidades de D-glucosa repartidas en un número de cadenas que va de 1 a 20. Cada cadena presenta un grado de polimerización (GP) promedio de 500 (siendo GP el número de unidades de glucosa que se encuentran unidas en una cadena) (MacAllister, 1979).

La naturaleza química de la amilosa implica que ésta puede formar complejos con pequeñas moléculas hidrofóbicas (Kossmann y Lloyd, 2000). Presenta una estructura en forma helicoidal y puede asociarse con moléculas de alcohol, ácidos orgánicos o lo que es más importante, con lípidos formando complejos. Los almidones con altos contenidos de amilosa, la contienen en un 80% (Kent y Evers, 1994).

II.1.2.2. Amilopectina

Como se observa en la Figura 1, la amilopectina es el componente ramificado del almidón. Está formada por cadenas de residuos α -D-glucopiranosidos (entre 17 y 23 unidades) unidos principalmente por enlaces α -(1 \rightarrow 4). También presenta entre un 5 a 6% de enlaces α -(1 \rightarrow 6) en los puntos de ramificación (MacAllister, 1979). La enzima β -amilasa hidroliza los enlaces α -(1 \rightarrow 4) de la amilopectina para producir dextrinas β -límite (que son las cadenas residuales que contienen los puntos de ramificación), un ataque posterior con pululanasa o isoamilasa, que actúan sobre los enlaces α -(1 \rightarrow 6) permite obtener maltosa (Bello y Tovar, 2001).

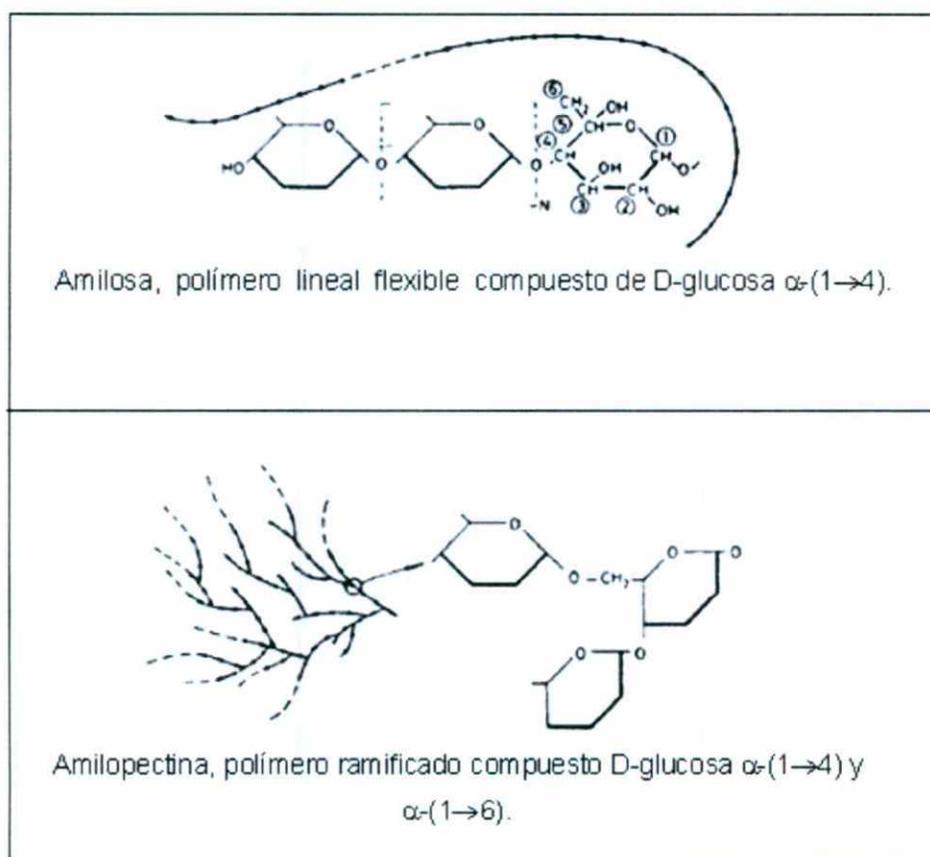


Figura 1. Componentes del almidón (deMan, 1999)

Un contenido alto en amilopectina da a lugar a almidones conocidos como cerosos (waxy), en este tipo de almidones el contenido de amilopectina se sitúa en aproximadamente 98%, algunos autores sugieren que se llega a encontrar en un 100% (Kent y Evers, 1994). La amilopectina, es quizás el componente que tiene mayor importancia en términos de las propiedades del almidón. Debido a que la estructura y propiedades de la amilopectina contribuyen notablemente en la composición y funcionalidad del gránulo, esta molécula ha sido estudiada ampliamente en términos de su tamaño molecular, ramificación y longitud de las cadenas internas y externas (Bello y Tovar, 2001). La amilopectina contiene enlaces covalentes de fosfato, que no están presentes en la fracción de amilosa, esto principalmente en almidones de tubérculos, especialmente papa. La amilosa en cambio forma complejos con pequeñas moléculas hidrofóbicas. (Kossmann y Lloyd, 2000).

Se considera que la amilopectina es responsable de la estructura organizada semicristalina del gránulo de almidón. Esta estructura sirve para rotar el plano de luz polarizada dando como resultado la propiedad de birrefringencia (Guy, 2001).

II.1.3. Estructura de los gránulos de almidón

La forma física en que los almidones se encuentran de manera natural es en pequeños agregados llamados gránulos. El tamaño y forma de ellos varía según la planta. El maíz presenta gránulos de forma globular y poligonal de 15 a 20 μm , que sería un tamaño intermedio si lo comparamos con los gránulos de arroz de 1 a 10 μm y los gránulos de papa de 50 a 100 μm . Estos gránulos ayudan a darle una estructura rígida al polímero evitando que se hinche en presencia de agua (Guy, 2001).

El gránulo de almidón está formado por capas de 9 a 10 nm de ancho llamadas lamelas, existen las cristalinas y las amorfas. Éstas se encuentran intercaladas y poseen una forma helicoidal como se muestra en la Figura 2. Están formadas por estructuras pseudo-esféricas llamadas bloques. Se pueden observar también

canales entre los gránulos de almidón llamados canales amorfos. Para efectos de expansión de los extrudidos, son fundamentales los hilums, que son poros microscópicos de 5 μm de diámetro localizados cerca del centro de los gránulos. Estos hilums son considerados como núcleos a partir de los cuales se forman las burbujas de vapor que van a determinar la expansión en productos extrudidos (Kokini y Moraru, 2003).

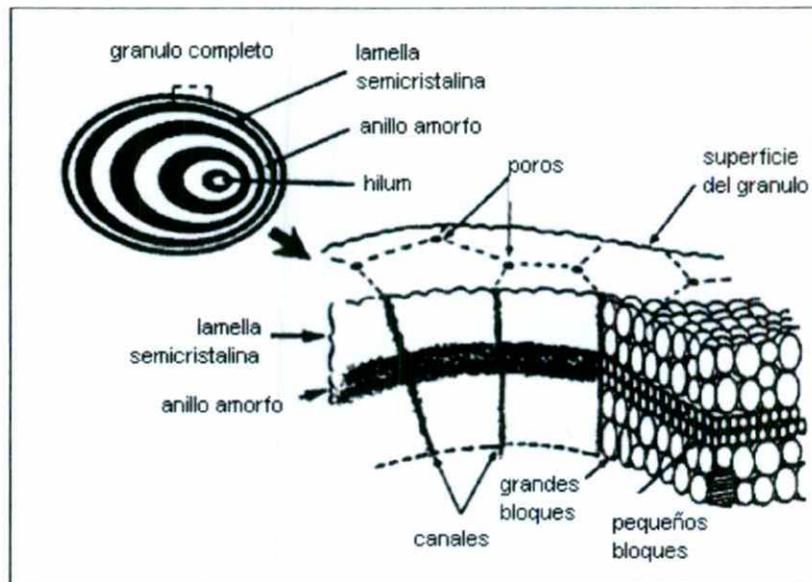


Figura 2. Estructura del almidón (Kokini y Moraru, 2003)

II.1.4. Cambios estructurales del almidón

II.1.4.1. Gelatinización

La gelatinización es de gran importancia en muchas operaciones de procesamiento de alimentos. Los procesos de elaboración de pan, tortillas, productos de pasta, la fabricación de botanas y sopas o cremas, son dependientes de la gelatinización del almidón para producir la textura deseada.

Cuando se coloca una muestra de almidón en agua fría, los gránulos se hinchan ligeramente (10 a 20%), debido a la difusión y absorción de agua en las regiones amorfas, aunque éste es un proceso reversible al secarse. Sin embargo, cuando

los gránulos son calentados en agua a temperaturas mayores, se alcanza un punto donde los gránulos hinchados presentan un fenómeno irreversible, pierden el orden estructural, el cual es debido a la fusión de los cristales. Cuando los gránulos continúan expandiéndose, la amilosa lixivia a la fase intergranular acuosa. Estos cambios moleculares llevan a un aumento sustancial en la viscosidad de la muestra. En conjunto, la ruptura de la estructura granular, el hinchamiento, la hidratación, y la solubilización de las moléculas de almidón se describe por el término de gelatinización (Maria y Wenzel, 2006). La temperatura a la cual ocurre este fenómeno se le conoce como temperatura de gelatinización. Cuando el gránulo alcanza esta temperatura pierde su birrefringencia. La amilosa fuera del gránulo forma una malla y produce un gel. Debido a que los gránulos de almidón presentan diferentes tamaños dentro de la misma fuente vegetal, no se habla de una temperatura puntual de gelatinización sino de un intervalo, algunos ejemplos son: papa 55 a 66 °C, trigo 52 a 63 °C, maíz 62 a 72 °C, arroz 66 a 77 °C y yuca 61 a 71 °C.

Inicialmente la gelatinización ocurre en las regiones del gránulo más accesibles que son las amorfas. El calentamiento y presencia de humedad hidroliza los enlaces de hidrogeno presentes en las cadenas de almidón (Bello y Tovar, 2001). En condiciones de exceso de agua los enlaces de hidrógeno encontrados en la región menos ordenada (zona amorfa del gránulo) son hidrolizados permitiendo que el agua pueda asociarse con los grupos hidroxilo que queden libres (Camire y col., 1990). Conforme la temperatura se incrementa, los enlaces de hidrógeno intermoleculares que mantienen la integridad estructural de las regiones cristalinas se destruyen. Las moléculas de agua solvatan los grupos hidroxilos liberados y el gránulo continúa hinchándose. Como consecuencia de una severa destrucción de los enlaces de hidrógeno, el gránulo se hidrata completamente y finalmente la malla micelar se separa y difunde dentro del medio acuoso (Bello y Tovar, 2001). El hinchamiento es el resultado de la apertura de la estructura del gránulo, si son afectados los gránulos de la zona cristalina, se da una pérdida de la birrefringencia.

El colapso final del gránulo es marcado por una disminución en la viscosidad (Camire y col., 1990).

Se ha mostrado que la adición de azúcares como la sacarosa, fructosa y glucosa aumentan la temperatura de gelatinización del almidón y retrasan el incremento de la viscosidad, y que este efecto se incrementa cuando se incrementa la concentración de alguno de estos azúcares en particular (Bello y Tovar, 2001).

El hinchamiento del gránulo puede ser seguido con la ayuda de un viscoamilograma. La Figura 3 nos muestra un viscoamilograma típico donde se observan las viscosidades que se presentan en el almidón durante su calentamiento en presencia de agua. Si se tiene una cantidad de almidón (7 a 10% p/p) calentándose a una cierta velocidad (1 °C a 5 °C por minuto), se podrá detectar el aumento de viscosidad. Se obtendrá un pico de máxima viscosidad donde todos los gránulos estarán hinchados. La viscosidad mínima será registrada cuando hayan colapsado la mayor parte de los gránulos.

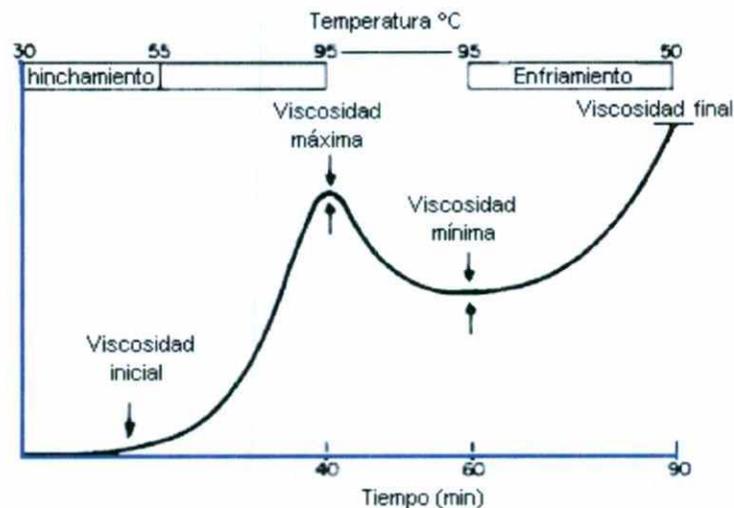


Figura 3. Viscoamilograma de almidón (Kent y Evers, 1994)

II.1.4.2. Gelificación

Después de la gelatinización, las moléculas de amilosa y amilopectina pueden considerarse como "disueltas". Durante el enfriamiento la dispersión de almidón

gelatinizado adquiere, dependiendo de la concentración, una consistencia de pasta suave o gel.

Las moléculas de amilosa, después de la gelatinización, tienen una fuerte tendencia a asociarse con otras moléculas de amilosa adyacentes, a través de la formación de puentes de hidrógeno con otras moléculas de amilosa adyacentes cuando la solución se enfría o al mantenerla sin movimiento por un largo periodo de tiempo.

Al enfriar una dispersión de almidón gelatinizado, ésta se convierte en una pasta viscoelástica turbia, o en concentraciones de almidón suficientemente altas (mayores al 6% p/p), en un gel elástico opaco. La amilosa exudada de los gránulos hinchados forma una red por asociación de las cadenas que rodean los gránulos gelatinizados. A concentraciones mayores del nivel crítico (6% p/p), se forma una red tridimensional con los gránulos hinchados (partículas deformadas), que llegan a embeber en una matriz continua, moléculas de amilosa enlazadas. La gelificación del almidón es determinante en la calidad en muchos procesos alimentarios. El tamaño y uniformidad del gránulo, la proporción de amilosa/amilopectina, la organización macromolecular los constituyentes menores del almidón (lípidos, grupos fosfato, proteínas), la presencia de otros solutos (sales, azúcares, lípidos), el pH, la concentración de almidón y los intervalos de corte-temperatura-tiempo empleados durante la preparación del gel, son todos importantes en las dispersiones viscoelásticas del almidón y pueden responder a las diferencias en las propiedades reológicas entre los almidones.

Los geles de almidón son sistemas metaestables, en estado de no-equilibrio y durante el almacenamiento, se lleva a cabo la transformación de su estructura (agregación de cadenas, recristalización). Los cristales eventualmente empiezan a formarse y esto es acompañado por un aumento gradual en la rigidez y la separación de fases entre el polímero y el disolvente (sinéresis) (María y Wenzel, 2006).

La amilosa y la amilopectina a partir del almidón gelatinizado se reasocian e incrementan la rigidez entre y dentro de los gránulos hinchados. La amilosa

generalmente gelifica fuera del gránulo inmediatamente después de la gelatinización. La amilopectina generalmente permanece dentro del gránulo hinchado, donde lentamente recristaliza. Se considera que la amilosa, debido a su naturaleza lineal, es fundamentalmente responsable de la gelificación del almidón (Biliaderis, 1991). Puede formar geles firmes a bajas concentraciones (1.5% p/p). En contraste con la amilosa, la gelificación de la amilopectina es un proceso mucho más lento y requiere de concentraciones mayores ($\geq 15\%$). A este respecto, las cinéticas de gelificación de la amilopectina son diferentes de las de la amilosa y se cree que refleja la formación de la red a través de la recristalización de las cadenas exteriores de la molécula.

II.1.4.3. Retrogradación

Si la solución de almidón original se diluye y se enfría lentamente, las moléculas de la amilosa tienen el tiempo suficiente para alinearse de tal forma que varios enlaces de hidrógeno pueden formarse entre cadenas paralelas adyacentes. Este fenómeno es conocido como retrogradación y se manifiesta por la formación de precipitados o geles. La principal influencia de la retrogradación es sobre la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (María y Wenzel, 2006). Se ha mostrado que la retrogradación abarca dos procesos: a) gelación de las moléculas de amilosa exudadas del gránulo durante la gelatinización y b) recristalización de la amilopectina (Biliaderis, 1991).

A pesar de que la amilosa y la amilopectina están sujetas a la retrogradación, parece ser que la amilopectina es la molécula que más influye en los cambios como el endurecimiento que se suscita en los alimentos que contienen almidón cuando estos se almacenan. La retrogradación es un proceso complejo y depende de muchos factores, como el tipo y concentración de almidón, regímenes de cocimiento y enfriamiento, pH y la presencia de solutos como lípidos, sales y azúcares (Bello y Tovar, 2001).

Diversos lípidos emulsificantes como por ejemplo los monoglicéridos saturados, son incorporados en productos de panadería debido a su capacidad para retardar el endurecimiento y retrogradación del almidón. Esto es atribuido a la formación de complejos de inclusión entre las moléculas de almidón (principalmente amilosa) y los lípidos (Guy, 2001).

Hay 2 tipos de almidón, el digerible y el resistente. El primero es atacado por las enzimas hasta glucosa en el tracto digestivo, mientras que el segundo, es fermentado en el colon. Se considera que el almidón retrogradado es un tipo de almidón resistente (Luallen, 1988).

II.2. Proteínas de la leche

II.2.1. Generalidades

La proteína de leche posee propiedades fisicoquímicas que afectan la funcionalidad del alimento, ya sea en la textura, color, sabor, capacidad de absorción de agua o estabilidad. Probablemente las propiedades fisicoquímicas más importantes son peso molecular, punto isoeléctrico, solubilidad, hidratación, reología y gelación. La importancia de éstas depende del alimento en cuestión. El Cuadro 1 muestra el punto isoeléctrico de las proteínas de la leche el cual es de suma importancia en la fabricación de quesos. Estas propiedades son hasta cierto punto interdependientes entre sí (Fox y McSweeney, 1998).

La leche contiene una gran variedad de proteínas que pueden dividirse en dos grandes grupos, las caseínas y las proteínas del suero. Desde una perspectiva de proceso de elaboración de queso, las caseínas son aquellas que son precipitadas en la producción de queso, y las proteínas del suero son las que permanecen en la porción acuosa, sin ser retenidas en la cuajada (Walzem y col., 2002). La leche de vaca normal contiene alrededor de 3.5% de proteína. Este porcentaje va a cambiar durante la producción de la leche dentro del ordeño, sobretodo el porcentaje de proteína de suero, el cual será mayor en un inicio.

Cuadro 1. Propiedades de las proteínas de leche (Fox y McSweeney, 1998).

Proteína	Composición respecto a la proteína total de la leche (%)	Peso Molecular (kDa)	Punto Isoeléctrico
Caseínas	80		4.6
Lactoalbúmina	3.5	14	4.8
lactoglobulina (monómero)	12	18	5.2
Inmunoglobulinas	3	>300	5.6
Seroalbúminas Bovinas	0.3-1	66	4.7
Proteosomas y Peptonas	2-6	4.1-20	3.3-3.7

II.2.2. Caseínas

La caseína es un grupo de proteínas que constituyen aproximadamente el 80% del total de proteínas de la leche. Es una proteína fosfatada, que posee una gran capacidad de retención de agua (Fernández, 2005).

En un inicio se pensó que la caseína era una proteína homogénea. Para el año 1956, después de varios estudios, se llegó a la conclusión de que la caseína de leche de vaca consistía de varias fracciones conocidas hasta ahora como α_{s1} , α_{s2} , β y κ que representan el 38, 10, 34 y 15% respectivamente, de la caseína total. Son moléculas pequeñas de masa molecular de 20-25 kDa (Fox y col., 2000).

La caseína es altamente soluble, se pueden preparar soluciones al 20% en agua a 80-90°C. Se requieren altas temperaturas para eliminar las altas viscosidades. Una alta viscosidad es la respuesta a la elevada capacidad de retención de agua que posee la caseína (2.5g de H₂O g⁻¹ proteína). Esta capacidad de retención de agua le da a la caseína propiedades funcionales que resultan útiles en la fabricación de ciertos alimentos (Fox y McSweeney, 1998).

II.2.2.1. Estructura de la caseína

Mediante experimentos se ha visto que las caseínas presentan bajos niveles de estructuras secundarias y terciarias. Cálculos teóricos indican la presencia de estructuras mayores, lo que da a la caseína estabilidad ante agentes desnaturizantes tales como el calor y la urea.

El 85% del total de la caseína está constituido por caseína α_{s1} , α_{s2} y β . Estas fracciones precipitan en la presencia de Ca, si éste está presente en una concentración mayor a 6 mM. La leche de vaca contiene Ca en una concentración de 30 mM. Se esperaría la precipitación de estas fracciones de caseína; sin embargo, esto no se da debido a la κ -caseína que contiene un ion/mol fosfato no sensible a Ca^{2+} , que además estabiliza la caseína evitando la precipitación. Esto se da mediante la formación de una estructura cuaternaria conocida como micela de caseína. La estructura de esta micela de caseína ha sido objeto de varios estudios. Una de las estructuras propuestas más aceptada, consiste en considerar que la micela está formada por submicelas de 5×10^6 kDa. Éstas están constituidas por caseínas α_{s1} , α_{s2} y β , con presencia de κ -caseína en la superficie de las submicelas. Sabiendo que una mayor cantidad de κ -caseína se encuentra en la superficie de la micela, se explica cómo la renina puede actuar sobre la κ -caseína que se encuentra en la superficie. La renina es una proteasa específica, obtenida del estómago de ternero, usada en la fabricación de quesos (Fox y col., 2000).

Es ampliamente conocido que la caseína puede ser coagulada y precipitada para dar productos como queso, yogur, kefir, cuajada, nata o leche agrias (buttermilk) y otros derivados. La caseína se precipita por dos procedimientos: acidificación y acción de la enzima renina.

La mayoría de las diferentes variedades de queso son formadas mediante la acción de la renina también conocida como cuajo animal, que descompone un pequeño trozo de la κ -caseína precipitando la micela completa (Fernández, 2005). La coagulación inducida de la leche es realizada en dos etapas, la primera implica una modificación enzimática de las micelas de caseína. Esta se da debido a que la enzima renina ataca el enlace 105-106 de la κ -caseína. La primera secuencia de

aminoácidos está formada por la para-caseína y permanece unida a la micela de caseína, mientras que el resto de la cadena de aminoácidos (106-169) de la κ -caseína, conocido como glucomacropéptido se pierde en el medio acuoso circundante.

La segunda parte de la coagulación de la leche se da después de que la κ -caseína es hidrolizada, causando una inestabilidad electrostática y estérica. En esta segunda fase, se da una formación de cadenas de micelas de caseína que ayudarán a crear una red de micelas parcialmente fusionadas. Para que se de esta coagulación de micelas debe existir una temperatura mayor a 18 °C y presencia de Ca^{2+} . La caseína renina que contiene el fosfato de calcio coloidal de la leche, es insoluble en agua a pH 7, aunque puede ser disuelta si se adicionan agentes secuestrantes de calcio tales como citratos y polifosfatos. Tiene propiedades funcionales deseables para aplicación en alimentos, como la producción de quesos análogos.

Otro método para la obtención de la cuajada de la leche, y por tanto obtención de queso, es la acidificación, donde se protonan los grupos fosfato (y otros ingredientes) que solubilizan a la κ -caseína. La coagulación se obtiene agregando ácidos tales como acético, cítrico o láctico hasta llegar a un pH que se encuentra cercano al del punto isoeléctrico (PI a pH 4.6), o un valor más alto si además existe una temperatura elevada, como en el caso del queso ricotta que precipita a pH 6 y 80°C. Además de esto, el fosfato de calcio coloidal que se encuentra uniendo las micelas de caseína se solubiliza ayudando a la agregación de éstas (Fox y col., 2000).

II.2.3. Proteínas del suero de leche

Tradicionalmente, el suero de leche era definido como el bioproducto de la elaboración de queso, y era visto por los productores de leche como desperdicio sin algún valor comercial. Esta percepción ha cambiado radicalmente después del descubrimiento de todas las aplicaciones tecnológicas y nutricionales que se

pueden tener para el suero y sus componentes, considerándolo ahora un co-producto en la manufactura del queso. La composición del suero depende del método de fabricación del queso. De acuerdo a esto, el suero puede dividirse en suero dulce y suero ácido. A partir de este material son producidos el suero deslactosado, suero desmineralizado, concentrado de proteína de suero, y aislado de proteína de suero. Esto se hace usando tecnologías como la ultrafiltración, microfiltración, diafiltración de membrana, y la tecnología de intercambio iónico que ofrece fracciones de suero de gran pureza. La concentración, pH, ambiente iónico, tratamiento térmico y presencia de lípidos son variables importantes para la selección del tipo de suero que se va a usar en las distintas aplicaciones que se pueden tener. Los concentrados de proteína de suero (CPS) y los aislados de proteína de suero (APS), son muy valiosos como ingredientes, no sólo por su capacidad de conjuntarse y proveer así una estructura en los alimentos, sino también por su solubilidad en un amplio rango de pH. Esta propiedad hace que puedan ser usados en bebidas energéticas. Su habilidad para enlazar agua y formar geles hace que puedan ser aplicables en productos de panadería y carnes procesadas. También pueden ser usados como emulsificantes en aderezos, cremas para café, sopas de crema y dentro de alimentos funcionales. Las proteínas del suero de leche han sido usadas por años como suplemento alimenticio. Las propiedades físicas de la proteína de suero son diferentes a las de la caseína. La caseína forma coágulos en el estómago lo que hace que su salida sea más lenta, aumentando así la hidrólisis antes de la entrada al intestino delgado. Las proteínas del suero son proteínas "rápidas" que llegan al yeyuno casi de manera inmediata después de entrar en el estómago. Su hidrólisis en el intestino es más lenta que la de las caseínas, lo que hace que sean absorbidas en una mayor porción del intestino.

En virtud del contenido de aminoácidos de las proteínas del suero, su valor biológico es mayor al de otro tipo de proteínas. El valor de PER, retención eficiente de proteína, (aumento de peso por gramo de proteína consumida) del suero de

leche (3.2) es mayor al de la caseína (2.6), debido al mayor contenido de aminoácidos sulfurados (Walzem y col., 2002).

II.2.3.1. α -Lactoalbúmina

La α -lactoalbúmina representa un 20% de las proteínas del suero de vaca (3.5% de la proteína de leche total). Es una proteína globular de 14 kDa con dos variables genéticas A y B. Su punto isoeléctrico está a pH 4.8.

Una de las características más importantes de la α -lactoalbúmina, es el papel que desempeña en la síntesis de lactosa, donde se requiere una molécula de α -lactoalbúmina para la formación de una molécula de lactosa.

La α -lactoalbúmina contiene un aminoácido que se une al calcio si se encuentra a $\text{pH} \geq 5$ lo cual le confiere una estabilidad al calor. Si el pH baja, el aminoácido es protonado, y por tanto se da una desnaturalización y pérdida de estabilidad ante el calor. Este proceso no es reversible con el enfriamiento.

II.2.3.2. β -Lactoglobulina

La β -Lactoglobulina es la proteína que se encuentra en mayor proporción en el suero, representando un 50% del total de la proteína de suero y un 12% de la proteína total de la leche. Su monómero tiene una masa molecular de 18 kDa. No es producida por el ser humano. Tiene 4 variantes genéticas A, B, C, D, y se ha encontrado una quinta en Australia. Es rica en aminoácidos azufrados que le dan un alto valor biológico, y que además son los responsables del olor y sabor a cocido en la leche. Su punto isoeléctrico se encuentra a un pH de 5.2.

La importancia biológica de la β -Lactoglobulina está en que ayuda en el transporte del retinol hasta el intestino delgado. Se enlaza con él creando una especie de encapsulante hidrofóbico que lo protege de la oxidación durante su transporte (Fox y McSweeney., 1998).

II.3. Extrusión

II.3.1. Generalidades

La extrusión es un proceso que se lleva a cabo bajo humedades relativamente bajas y en condiciones de alta temperatura, por cortos periodos de tiempo, además de ser de bajo costo de mano de obra, alta eficiencia productiva, y baja emisión de efluentes (Martínez, 2006).

La tecnología de extrusión tiene una gran importancia en la industria alimenticia como un proceso de manufactura eficiente. En un principio su principal objetivo era dar forma a los materiales que se sometían a este proceso. Actualmente, es usada en el procesamiento de cereales, proteínas, alimentos balanceados. Donde debido al calentamiento que se tiene hay un cocimiento y se adquiere una forma específica según el dado que se esté utilizando.

Las principales operaciones unitarias que se realizan durante el proceso de extrusión se pueden resumir en transporte, mezclado, corte, separación, calentamiento o cocimiento, adquisición de formato, co-extrusión, generación de sabor, encapsulación y esterilización.

En la Figura 4 se muestran las principales partes que conforman un extrusor de tornillo simple. En el proceso de extrusión las materias primas son forzadas a un cierto flujo bajo condiciones de mezclado, calentamiento y corte que finalmente pasan a través de un dado que les da un cierto formato. Los alimentos extrudidos pueden obtenerse como productos intermedios o terminados. La temperatura de calentamiento puede alcanzar hasta los 190 °C, pero el tiempo de residencia es generalmente de 20 a 40 segundos. Por esta razón, este proceso puede ser considerado de alta temperatura en un tiempo corto (HTST, high temperature short time).

La presión usada en los extrusores ayudará a dar formato al extrudido, a mantener el agua en un estado líquido de sobre calentamiento e incrementará la fuerza de corte en ciertos extrusores, ésta varía entre 15 y 200 atmósferas.

Un aspecto importante en el proceso de extrusión es su naturaleza continua. Opera en un estado de equilibrio dinámico donde las variables de entrada están relacionadas con las variables de salida. Es por esto que para obtener las características deseadas del extrudido es necesario establecer las condiciones adecuadas, detectar las variables que van a afectar el producto y llevarlas a su nivel óptimo. En el desarrollo del proceso de extrusión, se han realizado mejoras en el equipo y todas las unidades que lo conforman, sin embargo en los últimos años el incremento en el conocimiento del proceso ha sido de igual importancia. De esta manera, es importante el establecimiento de la influencia de cada una de las variables dadas por el equipo, tales como presión, temperatura, velocidad del tornillo, velocidad de alimentación, compresión del tornillo y dado utilizado (Guy, 2001). Así mismo son importantes los materiales que se estén procesando y la naturaleza de éstos, además de la humedad a la que estén procesados.

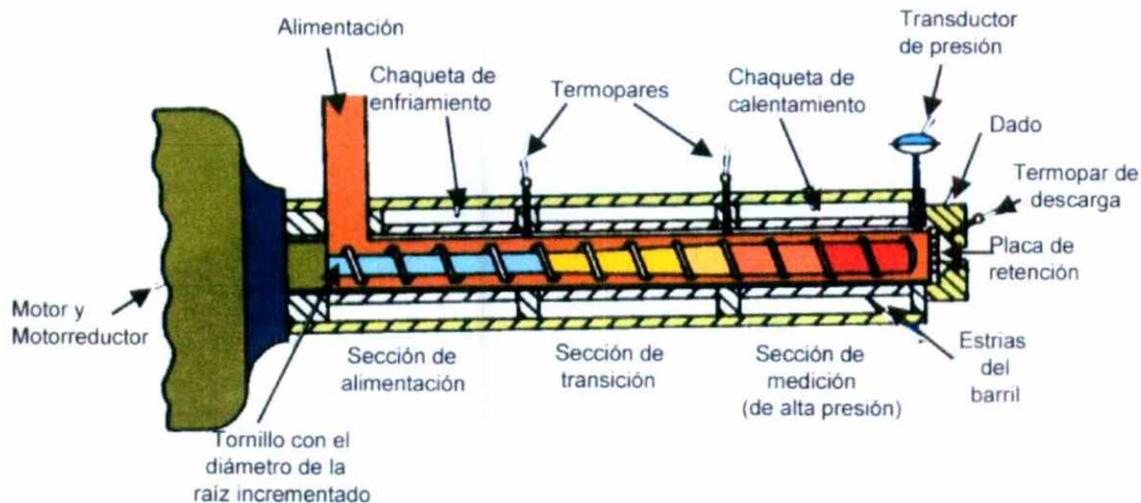


Figura 4. Partes de un extrusor de tornillo simple.

Para comprender mejor como se da una expansión del producto que se procesa a través del extrusor, se puede ver la Figura 5 donde se muestra, como dentro del extrusor, el almidón se encuentra sometido a una cierta presión, y junto con la temperatura y la humedad presente, provoca la gelatinización del granulo. Como se vio anteriormente, el gránulo presenta los hilums mostrados anteriormente en la

Figura 2, que dan origen a las burbujas de vapor de agua que originan la expansión del extrudido. Llega un momento en que esta presión interna de las burbujas formadas es muy grande, rompiendo la burbuja y ocasionando el colapso de esta y por tanto una contracción en el extrudido (Kokini y Moraru, 2003).

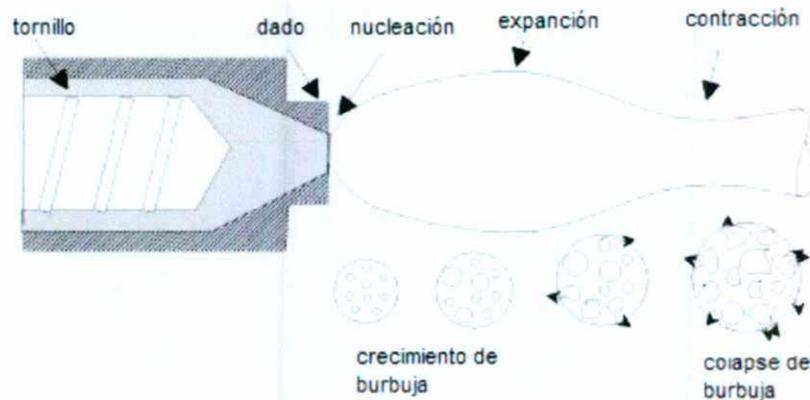


Figura 5. Expansión de extrudidos (Kokini y Moraru, 2003).

II.3.2. Tipos de extrusor

Los extrusores se pueden clasificar en extrusores de tornillo simple o de doble tornillo. Los extrusores de tornillo simple son menos costosos que los de doble tornillo, cuestan la mitad y los costos de mantenimiento son igualmente más bajos. Además, son menores las complicaciones que se tienen al configurar el extrusor de tornillo simple comparado con el de doble tornillo.

El término de doble tornillo o tornillo simple depende del número de tornillos sin fin que presente el extrusor. Los extrusores de doble tornillo pueden ser clasificados de acuerdo a la dirección de rotación de ambos tornillos, pueden ser co-rotatorios (en la misma dirección) o contra rotatorios (en dirección opuesta). En años recientes y con el aumento en las necesidades de proceso de extrusión que se tienen, tales como mayor uniformidad, y el tratamiento de alimentos con mayor viscosidad, se observó que el uso de doble tornillo podría satisfacer dichas demandas.

II.3.3. Cambios que sufren los materiales durante la extrusión

II.3.3.1. Almidón

En muchos productos extrudidos el almidón será fundido y dispersado, considerándose la fase continua del sistema; sin embargo, en sistemas con bajos cortes, algunos de los gránulos quedarán como agregados y actuarán en la fase dispersa. La estructura del almidón de amylo maize (alta amilosa) tiene enlaces mucho más fuertes y son fundidos a temperaturas mayores que la de los demás almidones (Guy, 2001). Cuando el almidón se somete a calentamiento en presencia de agua, su estructura original cambia y se da la gelatinización. Esta se considera un proceso secuencial, que incluye la difusión de agua dentro del gránulo, tomada por la región amorfa, su hidratación e hinchamiento de los gránulos (Kokini y Moraru, 2003).

II.3.3.2. Proteínas

En cualquier mezcla rica en almidón, la proteína representará la fase dispersa dentro del sistema. Las proteínas solubles tales como las albúminas (huevo y suero de leche) serán desnaturalizadas y cambiarán su estructura formando una masa. Ésta será ablandada y convertida a pequeñas piezas de alrededor de 1^a 20 μ m por efecto del corte al que está sometida y a la humedad. En proteína texturizada todo tipo de almidón seguirá como parte de la fase dispersa, siempre que el contenido en proteína sea menor del 35 a 40% (Guy, 2001).

II.4. Análogos de queso

II.4.1. Generalidades

Un queso análogo es generalmente definido como aquel que resulta de la mezcla de componentes individuales, incluyendo proteínas y grasas que no provienen de la leche. Estos se dividen en dos tipos, los extendidos y los totalmente análogos.

Un queso análogo puede verse como un producto ingenieril puesto que requiere de la combinación de elementos que son usados como materias primas tratadas de una forma tal que provean las propiedades de funcionalidad, textura y sabor que se esperan de un queso, de forma que sea similar a un queso natural.

La falta de información estadística sobre el uso de quesos análogos hace imposible el conocimiento del impacto que tiene el uso de quesos análogos en la actualidad (Bachmann, 2001).

El principio de la producción de quesos procesados y por ende de los quesos análogos es inducir una fusión homogénea en un queso maduro como el cheddar, sin que se dé la separación de grasa y agua utilizando un agente emulsionante. En los casos en donde el queso contiene un alto contenido de sólidos es necesaria también la inclusión de agua extra para poder disolver o mantener suspendida homogéneamente la masa de proteínas más o menos degradadas. Cuando no han sido degradadas, las moléculas de caseína, constituyen un emulsificante natural al que sólo se le ha privado de su habilidad en la formación de puentes de calcio y magnesio. Por tanto, para restituirle dicha habilidad, únicamente se requiere de la adición de algunas sales quelantes de calcio (también llamadas sales fundentes o emulsificantes) que lo puedan reemplazar por iones monovalentes. Ejemplo de estas sales son tartratos, citratos, ortofosfatos o polifosfatos de sodio (Valencia, 2004).

El proceso en que se realiza el queso y la adecuada formulación dará como resultado un buen queso sin que se presente separación de grasa con un tamaño de glóbulos más grandes (5 a 25 μm), lo que dará una textura similar a un queso natural. La Figura 6 muestra como se encuentra la matriz de un queso natural, se observa la red de la para caseína que engloba las moléculas de grasa y se puede ver cómo el agua está dispersa por toda la matriz.

La adición de sabores al final del proceso ayuda a evitar que éstos se volatilicen por la temperatura de proceso. Es importante verificar que el pH se encuentre entre 5.5 y 5.9 al final del proceso. Cuando la caseína es el componente mayoritario de la mezcla, se requiere este intervalo de pH que nos dará una carga

neta negativa en la caseína que ayudará para el secuestro de los iones de calcio por las sales emulsificantes de sodio, contribuyendo con esto a la hidratación de la caseína renina y por tanto a la formación de una buena emulsión con los aceites vegetales. Hay que tomar en cuenta que la caseína renina (35 mg/g) contiene mayor cantidad de calcio que un queso natural (28 mg/g el queso cheddar). El intercambio iónico que se lleva a cabo entre el calcio de la caseína y el sodio de las sales fundentes se ve beneficiado al usar cationes monovalentes y aniones polivalentes. La efectividad aumenta con la valencia del anión. Esta habilidad igualmente se ve influenciada por el pH, sobre todo en sales de cadena corta. El intercambio se da mayormente a pH alto esto debido a que hay una disociación más completa de las moléculas resultando en aniones con mayor valencia (Fox y col., 2000)

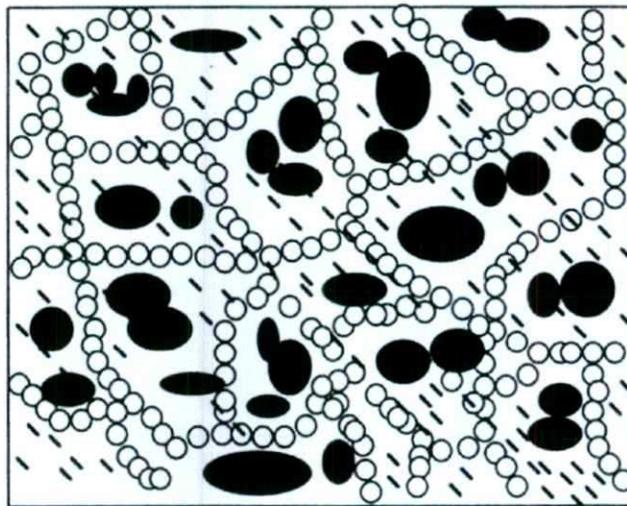


Figura 6. Representación esquemática de la estructura de un queso natural
(Fox y col. 2000)

○ Caseína ● Grasa - - - Agua

II.4.2. Beneficios

El desarrollo de este tipo de quesos ha ido creciendo principalmente gracias al bajo costo de ingredientes y su sencilla manufactura. El costo de un análogo es menor

debido principalmente a la diferencia en precios de la grasa butírica con respecto a la grasa vegetal. El equipo utilizado en la fabricación de un queso análogo es más barato. Además en un queso análogo no se tiene tiempo de maduración que también causa un costo en un queso natural. Estos quesos ofrecen un gran rango de funcionalidad, y presentan también una buena estabilidad durante su almacenamiento (Fox y col., 2000).

Generalmente se ha vinculado el uso de este tipo de quesos a la industria de comida rápida, principalmente en la fabricación de pizzas donde lo que se busca es abaratar costos. Este tipo de negocios ha ganado gran popularidad. Además de esto ha sido de un gran interés la existencia de este tipo de producto para los consumidores de alimentos bajos en grasa, principalmente colesterol, y grasas saturadas (Bachmann, 2001). Por lo anterior pueden ser diseñados para ciertos sectores de la población que requieren algún tipo de alimentación especial (Fox y col., 2000). En EUA los quesos análogos son elaborados de tal forma que se tenga un contenido nutricional igual o mejor que un queso natural. Esto gracias a la fortificación de algunas formulaciones en cuanto a vitaminas y minerales. Además se ha visto que el contenido en sodio y grasas saturadas es menor con respecto a un queso natural. Esto resulta importante desde el punto de vista de una mejor calidad de vida, pero también se tiene que tomar en cuenta que para la obtención de una buena textura en el producto los niveles de sales deben ser los adecuados (Bachmann, 2001).

II.4.3. Materias Primas usadas en la producción de análogos de queso.

II.4.3.1. Caseína y sus derivados

La caseína y sus derivados constituyen la fuente más concentrada de proteína coagulable para la extensión y la recombinación.

Como se vio anteriormente, la caseína puede prepararse mediante la coagulación con ácidos orgánicos (caseína ácida), o a través de la acción enzimática de la

renina (caseína renina). Una vez coagulada, la caseína se desuera y se seca. La caseína a pH neutro es insoluble, por lo que requiere condiciones alcalinas para convertirse en sal de sodio o de calcio (caseinatos) y poder dispersarse en agua.

II.4.3.2. Grasas y aceites

Las fuentes de grasas y aceites a utilizar para estandarizar la relación grasa: proteína en los productos análogos son diversas. Se pueden utilizar crema dulce o mantequilla sin salar. Aún así, en ámbito industrial las fuentes más comunes son la grasa butírica anhidra y la óleo mantequilla. Ambas vienen envasadas en botes de 20 Kg y se conservan en atmósfera de Nitrógeno por 6 a 12 meses. La grasa butírica antes de ser utilizada requiere fundirse por inmersión en agua a 80 °C por dos a 3 horas o almacenarse en un cuarto caliente a 45 a 50°C durante 24 horas. Un manejo similar se emplea con fuentes de grasa vegetal que vienen en forma sólida o semi-sólida.

II.4.3.3. Agua

El agua es otro de los componentes utilizado en la rehidratación de leches para el desarrollo de quesos análogos. Debe ser potable y de una dureza baja (< 100 mg/L CaCO₃) (Ortiz, 2005).

II.4.3.4. Emulsificantes

Existen emulsificantes orgánicos que proveen un decremento dramático en la viscosidad durante el procesamiento. Se han obtenido mezclas para mejorar la uniformidad del producto, evitando así la separación del aceite al momento de fundir el queso. Los emulsificantes a los que se hace referencia son ésteres de ácidos grasos etoxilados de glicerol.

Para que la proteína pueda actuar como emulsionante tiene que ser soluble, de otra manera no puede interactuar con el emulsionante y así atrapar la grasa.

La caseína de la leche, por la acción enzimática de la renina, precipita formando una red donde atrapa la grasa de la leche, produciendo así un queso con una red estable de proteína precipitada. Esta red se da gracias a la formación de micelas de caseína que junto con los fosfatos y los iones Ca^{+2} forman agregados del tamaño de 9 veces la micela de caseína.

II.4.3.5. Sales fundentes

Proporcionan solubilización de la caseína, estructura adecuada, propiedades de fundido y emulsificación. Ofrecen la función de acidificar, controlar el pH y formar complejos de cationes metálicos que pueden promover degradación del producto.

Algunas son derivadas del ácido fosfórico, que junto con varias de sus sales son sustancias GRAS (Generalmente Reconocido Como Seguro, por sus siglas en inglés). Éstas incluyen fosfatos de amonio mono y dibásicos; fosfato de calcio mono, di y tribásicos; pirofosfato ácido de sodio; fosfato de sodio y aluminio; tripolifosfato de sodio, que se usan como agentes leudantes y secuestrantes (González, 2004). También son llamadas sales emulsificantes. No son emulsificantes en el estricto sentido, desde el hecho de que no tienen superficie activa. Juegan un rol esencial ya que suplementan las propiedades emulsificantes de las proteínas del queso. Su adición es muy importante ya que aportan propiedades de fusión.

II.4.3.6. Almidones

El almidón es usado en varios quesos como espesante. En quesos naturales son adicionadas ciclodextrinas para incrementar la retención de humedad y la vida de anaquel. Dispersiones acuosas de almidón de maíz fueron mezcladas con quesos maduros fundidos para dar un producto suave estable con la consistencia de mantequilla (Basurto, 2007).

II.4.3.7. Otros ingredientes

Además de los ingredientes anteriores, son utilizados saborizantes, colorantes como el beta caroteno o color huevo, conservadores como el sorbato de potasio, suplementos vitamínicos y sal de mesa (Basurto, 2007).

II.4.4. Evaluación del análogo de queso

El análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés), es uno de los métodos más empleados para medir las características de los alimentos. Este método se basa en un ciclo doble de comprensión de una muestra con dimensiones específicas, que imita la acción de las mandíbulas. La Figura 7 muestra la curva típica arrojada después de un análisis de TPA. Szczesniak y col. (1975) proponen los siguientes parámetros para la evaluación de la textura:

- Dureza: Se define como la fuerza necesaria para obtener generar una deformación. Este parámetro se determina como la altura máxima del primer pico de fuerza en el primer ciclo de compresión. Sus unidades son Newtons (N).
- Cohesividad: se define como la fuerza de interacción de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Se determina dividiendo el área 2 (A_2) entre el área 1 (A_1). Este parámetro es adimensional.
- Elasticidad: Se define como la tasa a la que un alimento deformado regresa a su forma original después de que se le aplico alguna fuerza externa. Se obtiene dividiendo la distancia 2 (D_2) entre la distancia 1 (D_1), este parámetro es adimensional.

- Adhesividad: Se define como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales tales como la lengua, el paladar, etc. Este parámetro es el área negativa de la curva del perfil de textura que aparece en la Figura 7 después del primer ciclo de compresión (A_3).

Las primeras tres propiedades se relacionan con las fuerzas de atracción que actúan entre las moléculas del alimento y se oponen a la desintegración del mismo, mientras que la adhesividad se toma como una propiedad de superficie.

Otros parámetros derivados por los cálculos de los parámetros medidos son:

- Gomosidad: Se define como el producto de Dureza por Cohesividad.
- Masticabilidad: Es el producto de Gomosidad por Elasticidad.

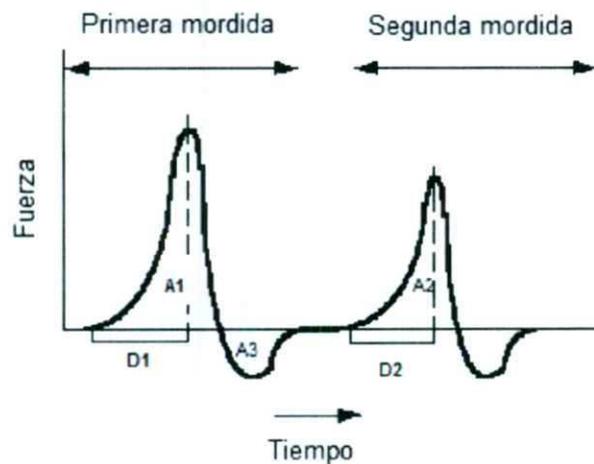


Figura 7. Curva típica de análisis de Perfil de Textura

Los métodos instrumentales son una forma de evaluar un producto, aunque se complementa con la evaluación sensorial, porque en base a esta última un producto puede ser aceptado o rechazado por el futuro consumidor (Pedrero y Pangborn, 1997).

La evaluación sensorial se ocupa de la medición y cuantificación de las características percibidas por los sentidos humanos.

El análisis sensorial, es una herramienta del control de calidad en las industrias durante el proceso de fabricación del producto final. En primer lugar, el olor, color, sabor y en general, los atributos sensoriales son criterios de aceptación o rechazo de los ingredientes a emplear en la elaboración de un producto. En una segunda fase, se aplica a las características del producto final y en la variación que estos cambios provocan en la adaptación del producto a su perfil final, así como para la realización de modificaciones o correlaciones en el transcurso de su elaboración. Una tercera función del análisis sensorial, se aplica al análisis del mercado (Morales, 2006).

III. HIPÓTESIS

Las mezclas de almidón de maíz con concentrado de proteína de suero de leche procesadas por extrusión, pueden ser usadas para la sustitución parcial de proteína o grasa en la fabricación de un análogo de queso tipo manchego, de forma que sus propiedades de textura y fundido no se vean afectadas.

IV. OBJETIVOS

IV.1. General

Seleccionar y caracterizar una mezcla de almidón de maíz y concentrado de proteína de suero obtenida por extrusión, en el desarrollo de un análogo de queso tipo manchego.

IV.II. Específicos

Determinar la influencia del diámetro del dado y tipo de tornillo en la mezcla de almidón de maíz y concentrado de proteína de suero (CPS) de leche sometidas al proceso de extrusión.

Desarrollar una formulación base para la elaboración de un análogo de queso tipo manchego y observar el efecto de las sales fundentes en su fabricación.

Determinar la cantidad de grasa y proteína que puede ser sustituida por la mezcla de almidón y CPS obtenida por extrusión en la fabricación de un análogo de queso tipo manchego.

Evaluar la aceptación de los consumidores del nuevo producto elaborado a partir de un análisis de mapeo de preferencias.

V. METODOLOGÍA

V.1. Materiales

V.1.1. Equipo

- Termobalanza (OHAUS MB200 Florham PK NJ)
- Potenciómetro Denver Instrument Model 250 (pH-ISE-conductivity meter)
- Extrusor prototipo CINVESTAV de tornillo simple
- Tornillos para extrusión de compresión 1:1 y 1:2
- Dados de salida del extrusor de 3 y 5 mm
- Molino (Pulvex 200)
- Estufa Felisa
- Cámara de refrigeración de 4 °C
- Malla 20 con abertura de 850 µm
- Malla 60 con abertura de 250 µm
- Vernier digital CD-6 C5 (Mitutoyo Corp.)
- Colorímetro portátil Miniscan Hunter Lab
- Caja de Petri
- Vidrio transparente de 2 mm de espesor
- Centrifuga (Labnet, Hermle Z200A)
- Viales de plástico para centrifuga.
- Baño María Precision Scientific
- Balanza Analítica Ohaus Explorer
- Rapid Visco Analyzer (RVA), (RVA-3, Newport Scientific, NSW)
- Viales de aluminio.
- Texturómetro universal TA-XT2
- Celda cilíndrica de 1 cm de diámetro y punta plana para textura
- Celda cilíndrica de 2.5 cm de diámetro y punta plana
- Microscopio electrónico de barrido (SEMXL30 Phillips)
- Tubo de vidrio de 20 mm de diámetro interno con tapón

- Tapón horadado con un tubo de vidrio de 1 mm de diámetro interno
- Homogenizador manual Braun

V.1.2. Reactivos

- Almidón de maíz comercial nativo, Almidones y Glucosa Mive S.A. de C.V.
- Concentrado de proteína de suero de leche, CPS 80% de proteína, América Alimentos S.A. de C.V.
- Caseína 82% , Aditivos y Tecnología Alimentaria, S.A. DE C.V., ADYTEC
- Hidróxido de Sodio (NaOH), J.T. Baker.
- Ácido Clorhídrico (HCl), J.T. Baker.
- Monogrol W® , Gardhal, S.A.
- Ácido Láctico (C₃H₆O₃) Cuamex
- Tripolifosfato de Sodio (Na₅P₃O₁₀), Aditivos y Tecnología Alimentaria, S.A. DE C.V., ADYTEC
- Fosfato disódico anhidro (Na₂H₂P₂O₇), Aditivos y Tecnología Alimentaria, S.A. DE C.V., ADYTEC
- Kasal , RICAP, S.A.
- Citrato de Sodio dihidratado (C₆H₅Na₃O₇ · 2H₂O), Aditivos y Tecnología Alimentaria, S.A. DE C.V., ADYTEC
- Agua embotellada, Victoria del Centro
- Margarina comercial Becel, Capullo
- Sabor queso parmesano, The Flavor Taste
- Sal comercial , La Fina
- Natural Caroteno WSL2%® , Colores Naturales de México

V.2. Métodos

V.2.1. Preparación de la materia prima

Se prepararon 8 mezclas de almidón y concentrado de proteína de suero de leche (CPS). Todas quedaron al 25 % de CPS, se ajustó el contenido de humedad a 30%, y el pH a 8, mediante una solución de NaOH 1 N y agua destilada. Cada mezcla se cribó por una malla 20 con abertura de 850 μm para asegurar la homogeneidad de la muestra.

La humedad final se verificó con una termobalanza, mediante el método de Auto secado (160 °C /0.01 g /20 s), usando 6 gramos de la mezcla. El pH se verificó con el potenciómetro. Las muestras se almacenaron por 24 h a 4 °C con el fin de que la distribución de agua y NaOH fuera homogénea. Se verificó humedad y pH antes del proceso de extrusión.

V.2.2. Proceso de Extrusión

Se utilizó un extrusor prototipo CINVESTAV de tornillo simple. Se utilizaron los tornillos de compresión 1:1 y 1:2, así como los dados de diámetros de 3 y 5 mm de acuerdo al diseño experimental. La velocidad del tornillo se mantuvo constante en los diferentes tratamientos, siendo esta de 40 rpm. La velocidad de la tolva de alimentación se mantuvo igualmente constante a 30 rpm.

Las temperaturas de las zonas del extrusor, fueron las siguientes: temperatura de alimentación 60 °C, temperatura de transición 90 °C y para la temperatura de salida se consideró la temperatura de 125 °C (Morales. 2006).

Las muestras tratadas por extrusión se colocaron en la estufa a 40 °C, dejándose ahí 24 horas, posteriormente se molieron en seco.

V.2.3. Caracterización de los extrudidos

V.2.3.1. Índice de expansión

El índice de expansión se determinó dividiendo el diámetro promedio del producto extrudido entre el diámetro interior del dado de salida del extrusor. Se utilizó un vernier digital para estas determinaciones. Se realizaron 20 determinaciones por tratamiento (Faubion y Hosenev, 1982).

V.2.3.2. Densidad aparente

La densidad aparente se determinó en el producto extrudido. Se cortaron piezas de 4 cm con una humedad similar entre ellas. Se midió el diámetro promedio (d) y la longitud (l) exacta de cada pieza. Con estos datos se obtuvo el volumen aparente (V) del extrudido mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{4}$$

donde d es el diámetro promedio del extrudido en mm y l es la longitud del producto extrudido en mm.

La densidad aparente se calculó dividiendo el peso de la pieza (g) entre su volumen aparente (cm³). Se realizaron 15 mediciones repetidas sobre cada unidad experimental (Morales, 2006).

V.2.4. Caracterización de los extrudidos pulverizados

V.2.4.1. Color

Los extrudidos, una vez molidos se tamizaron en malla 60 con abertura de 250 μm . La harina se colocó en una caja de Petri. Se compactó, buscando una superficie plana y uniforme. Se cubrió con un vidrio transparente de 2 mm de espesor. El color se determinó utilizando el colorímetro portátil. Se registraron los valores L, a y b del estándar utilizado, que en este caso fue el color blanco y de los diferentes tratamientos.

Se determinó el delta E (ΔE) con los valores obtenidos de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

V.2.4.2. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) a 30 °C y a 75 °C

Se pesaron 2.5 g (base seca) de cada tratamiento, pasados por malla 60 con abertura de 250 μm . Se colocaron en un tubo de polipropileno de 50 mL previamente acondicionado a peso constante. Se adicionaron 30 mL de agua destilada, previamente calentada a 30°C y 75 °C se agitó vigorosamente, y se mantuvo en un baño María a dichas temperaturas con agitación constante por 30 minutos.

Posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 10 minutos. Se separó el sobrenadante, colocándolo en viales de aluminio previamente pesados (a peso constante). Este vial se colocó en la estufa a 110 °C hasta la completa evaporación del agua. Se registró el peso del residuo de la evaporación. Igualmente se registró el peso del residuo sólido de la centrifugación (Morales, 2006).

El IAA se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$IAA = \frac{\text{Peso del residuo de centrifugación}}{\text{Peso de la muestra base seca} - \text{Peso residuo de evaporación}}$$

El ISA se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$ISA = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

V.2.4.3. Perfiles de viscosidad RVA

La viscosidad se evaluó mediante el uso del equipo Rapid Visco Analyzer (RVA), siguiendo las especificaciones AACC 61-02 (1999).

Se prepararon suspensiones en viales de aluminio del equipo, usando 4 g de muestra (base seca), adicionando la cantidad de agua destilada necesaria hasta alcanzar un peso total de 28 g.

Se mantuvo una agitación constante, para homogenizar la muestra. Para la rampa de calentamiento- enfriamiento, se tomó como temperatura inicial 50 °C y se mantuvo esta temperatura durante un minuto, para luego aumentar la temperatura a una velocidad de calentamiento de 5.6 °C/min hasta llegar a los 92 °C.

Una vez alcanzada esta temperatura se mantuvo constante por 5 minutos, para luego enfriar la muestra hasta 50 °C a una velocidad de enfriamiento de 5.6 °C/min, manteniendo esta última temperatura por 2 minutos. El tiempo total de cada corrida fue de 23 minutos.

De los perfiles de viscosidad obtenidos por el RVA se evaluaron, la viscosidad inicial (V_{in}), viscosidad máxima (V_{max}), temperatura de viscosidad máxima (TV_{max}),

viscosidad mínima (V_{\min}) y viscosidad final (V_{fin}). Finalmente se calculo el valor de viscosidad de retrogradación (V_{retro}) a partir de la siguiente relación:

$$V_{\text{retrogradación}} = V_{\text{final}} - V_{\text{mínima}}$$

Se realizó una medición duplicada de cada unidad experimental.

V.2.4.4. Evaluación de la firmeza de gel

Se preparó un gel en viales de aluminio, usando 4 g de muestra (base seca), y 28 mL de agua destilada. Se mantuvo agitación constante, para homogenizar la muestra. Se calentó a una velocidad de 5.6 °C/min hasta llegar a los 92 °C. Una vez alcanzada esta temperatura se mantuvo constante por 5 minutos, para luego enfriar la muestra hasta 50 °C a una velocidad de enfriamiento de 5.6 °C/min, manteniendo esta última temperatura por 2 minutos. Se dejó enfriando hasta llegar a la temperatura ambiente y se almacenó en una cámara de frío (5 °C), por 24 horas para su posterior análisis.

La firmeza del gel se evaluó en el texturómetro, determinándose la fuerza requerida para penetrar el gel. Se usó una celda cilíndrica de 1 cm de diámetro y punta plana. La velocidad de descenso fue de 2 mms⁻¹ con una distancia de penetración de 5 mm. Se realizaron 3 mediciones repetidas de cada gel (Morales. 2006).

V.2.5. Desarrollo del producto

V.2.5.1. Elaboración de la formulación base (control) del análogo de queso tipo manchego.

Se siguieron las cantidades que se muestran en el Cuadro 2. Se derritió la margarina, se le agregó el agua y el emulsificante (Monogrol W®). Se colocó en baño María. Se agregaron el resto de los ingredientes dejando el saborizante hasta

el final. Se continuó la agitación manteniendo una temperatura entre 65 °C y 70 °C. Se procedió al envasado de los quesos para su posterior análisis.

Cuadro 2. Formulación base del análogo de queso.

Ingrediente	%	200 g
Agua	50	100
Margarina	22	44
Caseína	26	52
Monogrol W®	0.25	0.5
Ácido láctico (50%)	0.36 (2mL)	4mL
Sal	1	2

V.2.5.2. Elaboración del análogo de queso adicionado con mezcla de almidón-CPS

Se siguió el método descrito para la elaboración del queso control, agregando además, la mezcla de almidón-CPS, que sustituirá grasa, o proteína según el método estadístico de diseño de mezclas.

V.2.6. Análisis de los quesos

V.2.6.1. Análisis de perfil de textura

Se cortó una probeta de queso de 1.5 cm de diámetro y 1 cm de altura. Se analizó en el texturómetro mediante el análisis de perfil de textura con una velocidad de ensayo de 5 mm/s y 5 mm de distancia de penetración. Para este ensayo se utilizó una celda cilíndrica de 2.5 cm de diámetro y punta plana. Se realizaron 5 repeticiones de cada queso a evaluar (Szczesniak 1975).

V.2.6.2. Prueba de fundido

Para la evaluación del fundido se utilizó un tubo de 20 mm de diámetro interno tapado completamente por uno de sus extremos con un tapón y del otro extremo tapado con un tapón horadado con un tubo de vidrio de 1 mm de diámetro interno, a

manera de respiradero. Se colocaron 15 g de queso finamente picado y compactado dentro del tubo del lado del tapón completo. Se marcó hasta donde llegó el queso compactado (Mounsey y O'Riordan, 1999). Se calentó el tubo colocado de manera horizontal en una estufa por 11 minutos a una temperatura de 180 °C y se midió la distancia de la marca a la distancia que haya alcanzado el queso una vez fundido. Esta prueba se realizó por duplicado.

V.2.7. Análisis sensorial del nuevo producto

Se escogieron los mejores 5 tratamientos de los análogos de queso realizados, y se hizo una comparación con un análogo de queso manchego comercial que se tomo como control. Se aplicaron las evaluaciones sensoriales a 100 consumidores. A cada consumidor se le dio un cuestionario mostrado en el ANEXO 1. Además se le dieron 7 muestras a evaluar, 5 tratamientos y dos quesos control. Las muestras se presentaron en vasos de plástico transparente con un código de tres cifras. El orden de presentación fue aleatorio siguiendo 9 diferentes corridas. Las muestras de queso fueron presentadas en forma de cubos de 2 cm. Se pidió a las personas, consumir un trozo de galleta entre cada muestra y enjuagar con un poco de agua para evitar mezclar la percepción del producto. Cada consumidor evaluó cuatro atributos de las muestras, producto en general, sabor, textura y cremosidad. Según una escala hedónica de 7 puntos (Young y col., 2004) cuya dirección iba desde no me gusta para nada (1) hasta me gusta mucho (7). Para esta escala se uso un lenguaje sencillo buscando una mejor identificación del lenguaje con el consumidor. Se analizaron los resultados mediante un análisis de varianza. Se realizó el método de Mapeo de Preferencia Interna con el objetivo de obtener una representación multidimensional del estímulo basado únicamente en la aceptación o preferencia medida por la escala dada (Greenhoff y MacFie, 1994) y con esto conocer el número de consumidores que prefirieron cada tratamiento.

V.3. Diseño Experimental

V.3.1. Estudio de Extrusión

Se siguió un diseño de dos factores con dos niveles mostrado en el Cuadro 3 para el estudio del efecto del empleo de un diferente diámetro del dado y el tipo de compresión al que está sometida la mezcla de almidón de maíz y CPS en el extrusor. Los tratamientos evaluados, se muestran en el cuadro 4.

Los factores que se mantuvieron constantes fueron: el porcentaje de almidón de maíz en 75%, el porcentaje de CPS en 25%, la humedad en 30% el pH en 8 y la temperatura de salida en 125 °C.

Cuadro 3. Factores y niveles de variación del diseño experimental completo de dos factores.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
Tipo de Tornillo	1:1	1:2
Diámetro del dado	3 mm	5 mm

Cuadro 4. Diseño experimental completo del estudio de extrusión con dos factores.

Tratamiento	Diámetro del dado(mm)	Grado de compresión del tornillo
113	3	1:1
113 ^a	3	1:1
115	5	1:1
115 ^a	5	1:1
213	3	2:1
213 ^a	3	2:1
215	5	2:1
215 ^a	5	2:1

V.3.2. Desarrollo del queso control

Para la elección del control, que se tomo como referencia, se aplicó un diseño de cuatro factores con dos niveles mostrado en el Cuadro 5. Se realizó una replicación por cada tratamiento. Los tratamientos que se analizaron se muestran en la Cuadro 6.

Cuadro 5. Factores y niveles de variación del diseño experimental de cuatro factores.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
Tripolifosfato de Sodio	0.3	0.75
Fosfato disódico	0.3	0.75
Kasal	0.3	0.75
Citrato de sodio	0.3	0.75

Cuadro 6. Diseño experimental para la obtención de la formulación del queso control con cuatro factores.

Número de muestra	Valor en código	Tripolifosfato de Sodio	Fosfato disódico	Kasal	Citrato de sodio
1	----	0.3	0.3	0.3	0.3
2	++++	0.75	0.75	0.75	0.75
3	-+-+	0.3	0.75	0.3	0.75
4	+- -	0.75	0.75	0.3	0.3
5	++++	0.75	0.75	0.75	0.75
6	+--+	0.75	0.3	0.3	0.75
7	--++	0.3	0.3	0.75	0.75
8	----	0.3	0.3	0.3	0.3
9	--++	0.3	0.3	0.75	0.75
10	+ +-	0.75	0.3	0.75	0.3
11	-+-+	0.3	0.75	0.3	0.75
12	+- -	0.75	0.75	0.3	0.3
13	-++-	0.3	0.75	0.75	0.3
14	+ +-	0.75	0.3	0.75	0.3
15	-++-	0.3	0.75	0.75	0.3
16	+--+	0.75	0.3	0.3	0.75

V.3.3. Desarrollo de un nuevo producto

Para poder definir la cantidad de mezcla de almidón y CPS en la formulación del análogo de queso, se aplicó un diseño de mezclas (Cornell, 2002). Éste permite definir varios factores que conforman los ingredientes de una mezcla. En este caso los factores estudiados fueron la cantidad de caseína, grasa, agua y mezcla (almidón-CPS) (Lobato-Calleros 1999; Morales 2006). En el diseño de mezclas que se siguió, la suma de estos cuatro factores correspondió al 92.69% del producto final. El 7.31% restante corresponde a las sales fundentes, sal de mesa, emulsificante, ácido láctico, colorante y saborizante según el Cuadro 7. Para el diseño de mezclas se tomó el 92.69 % como el 100%. Este porcentaje se distribuyó de acuerdo al diseño teniendo como límites los mostrados en el Cuadro 8. Los límites se establecieron de acuerdo a estudios previos de Lobato-Calleros y col. (1999) y Morales (2006). El cuadro 9 muestra los tratamientos que se realizaron en el diseño de mezclas.

Cuadro 7. Porcentajes de los ingredientes del diseño de mezclas.

Ingrediente	%
Agua	46.15 – 53.54
Margarina	13.84 – 20.31
Caseína	16.6 – 24
Monogrol W®	0.236
Ácido láctico (50%)	0.34 (1.94mL)
Sabor	4
Sal	1
Colorante	0.0079

Cuadro 8. Diseño para la sustitución de grasa y proteína por mezcla de CPS y almidón en análogo de queso manchego.

Factor	Límite inferior	Límite superior
Caseína	0.18	0.26
Grasa	0.15	0.22
Agua	0.5	0.58
A-CPS	0.04	0.09

Cuadro 9. Diseño de mezclas para la obtención del análogo de queso manchego.

Número de Muestra	Porcentaje			
	Caseína	Grasa	Agua	Mezcla
1	0.26	0.18	0.52	0.04
2	0.26	0.15	0.5	0.09
3	0.18	0.22	0.54	0.07
4	0.26	0.18	0.5	0.07
5	0.26	0.17	0.52	0.06
6	0.18	0.2	0.58	0.04
7	0.21	0.22	0.53	0.04
8	0.22	0.22	0.5	0.07
9	0.24	0.2	0.5	0.07
10	0.26	0.2	0.5	0.04
11	0.2	0.19	0.52	0.09
12	0.22	0.19	0.54	0.06
13	0.25	0.21	0.5	0.04
14	0.26	0.15	0.55	0.04
15	0.21	0.18	0.58	0.04
16	0.23	0.19	0.5	0.09
17	0.23	0.15	0.55	0.07
18	0.18	0.21	0.57	0.04
19	0.2	0.22	0.52	0.07
20	0.2	0.17	0.58	0.06
21	0.25	0.15	0.56	0.04
22	0.21	0.15	0.58	0.07
23	0.18	0.18	0.58	0.07
24	0.18	0.19	0.54	0.09
25	0.23	0.15	0.58	0.04
26	0.19	0.22	0.51	0.09
27	0.22	0.15	0.54	0.09
28	0.18	0.22	0.56	0.04
29	0.18	0.22	0.51	0.09
30	0.26	0.15	0.52	0.07
31	0.24	0.22	0.5	0.04
32	0.19	0.22	0.5	0.09
33	0.18	0.2	0.56	0.07
34	0.23	0.19	0.55	0.04
35	0.18	0.15	0.58	0.09

VI. RESULTADOS

VI.1. Caracterización de los extrudidos.

VI.1.1. Apariencia física.

Tratamiento	Imagen
113	
113a	
115	
115a	
213	
213a	
215	
215a	

Figura 8. Apariencia física de los extrudidos

VI.1.2. Índice de expansión

Cuadro 10. Resultados de la evaluación del índice de expansión de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.

*IE- índice de expansión

Tratamiento	Tamaño de dado (mm)	Grado de compresión del tornillo	IE*
113	3	1:1	1.0166
113 ^a	3	1:1	1.0159
115	5	1:1	1.0367
115 ^a	5	1:1	1.0299
213	3	2:1	1.0675
213 ^a	3	2:1	1.0384
215	5	2:1	1.074
215 ^a	5	2:1	1.1363

VI.1.3. Densidad Aparente

Cuadro 11. Resultados de la evaluación de la densidad aparente de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.

Tratamiento	Tamaño de dado (mm)	Grado de compresión del tornillo	Densidad aparente
113 ^a	3	1:1	13.64
115	5	1:1	11.27
115 ^a	5	1:1	11.26
213	3	2:1	11.92
213 ^a	3	2:1	12.78
215	5	2:1	10.56
215 ^a	5	2:1	9.58

VI.2. Caracterización de los extrudidos pulverizados.

VI.2.1. Color

Cuadro 12. Resultados de la evaluación del parámetro de color de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.

Tratamiento	Tamaño de dado (mm)	Grado de compresión del tornillo	Color			ΔE
			A	b	L	
113	3	1:1	-1.67	13.30	83.18	12.86
113a	3	1:1	-1.54	13.34	83.90	12.72
115	5	1:1	-1.69	13.15	84.93	12.32
115a	5	1:1	-1.55	14.14	83.55	13.57
213	3	2:1	-1.66	13.05	84.94	12.22
213a	3	2:1	-1.62	13.64	84.43	12.90
215	5	2:1	-1.63	11.99	85.62	11.08
215a	5	2:1	-1.58	12.86	84.86	12.05

VI.2.2. Índice de absorción de agua (IAA) y solubilidad en agua (ISA) a 30 y 75°C.

Cuadro 13. Resultados de la evaluación del índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA) a 30° C y a 75°C.

Tratamiento	Diámetro dado (mm)	Grado de compresión del tornillo	Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)			
			IAA 30 °C	ISA 30 °C	IAA 75 °C	ISA 75 °C
113	3	1:1	3.276	7.862	6.642	14.631
113a	3	1:1	4.081	7.872	7.178	15.670
115	5	1:1	3.411	7.756	6.652	14.485
115a	5	1:1	4.199	7.336	6.687	13.916
213	3	2:1	4.355	8.653	7.160	14.964
213a	3	2:1	3.987	7.992	7.133	13.789
215	5	2:1	3.426	8.639	6.894	14.843
215a	5	2:1	3.576	8.350	7.115	13.926

VI.2.3. Fuerza de penetración al gel

Cuadro 14. Resultados de la evaluación de la fuerza de penetración al gel (en Newtons) de los tratamientos tratados por extrusión. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.

Tratamiento	Diámetro dado(mm)	Grado de compresión del tornillo	Fuerza gel (N)
113	3	1:1	294.52
113a	3	1:1	246.01
115	5	1:1	321.72
115a	5	1:1	288.99
213	3	2:1	313.20
213a	3	2:1	312.18
215	5	2:1	284.35
215a	5	2:1	335.40

VI.2.4. Perfil de viscosidad

Cuadro 15. Resultados de la evaluación del perfil de viscosidad de los productos extrudidos. Los resultados corresponden al promedio según el número de mediciones indicadas en la metodología.

Tratamiento	Diámetro dado(mm)	Grado de compresión del tornillo	Vin	Vmax	Tmax	Vmin	Vfin	Vretro
113 ^a	3	1:1	0	3290.0	90.4	1892.5	6366.0	4473.5
115	5	1:1	0	3660.5	92.1	2315.0	7019.5	4704.5
115 ^a	5	1:1	0	3575.0	92.1	2344.0	7165.0	4821.0
213	3	1:1	0	3504.5	90.5	2069.0	6507.5	4438.5
213 ^a	3	2:1	0	3489.0	90.5	2055.0	6625.0	4570.0
215	5	2:1	0	3242.5	91.4	1932.5	6389.5	4457.0
215 ^a	5	2:1	0	3500.0	91.8	2200.0	6940.5	4740.5

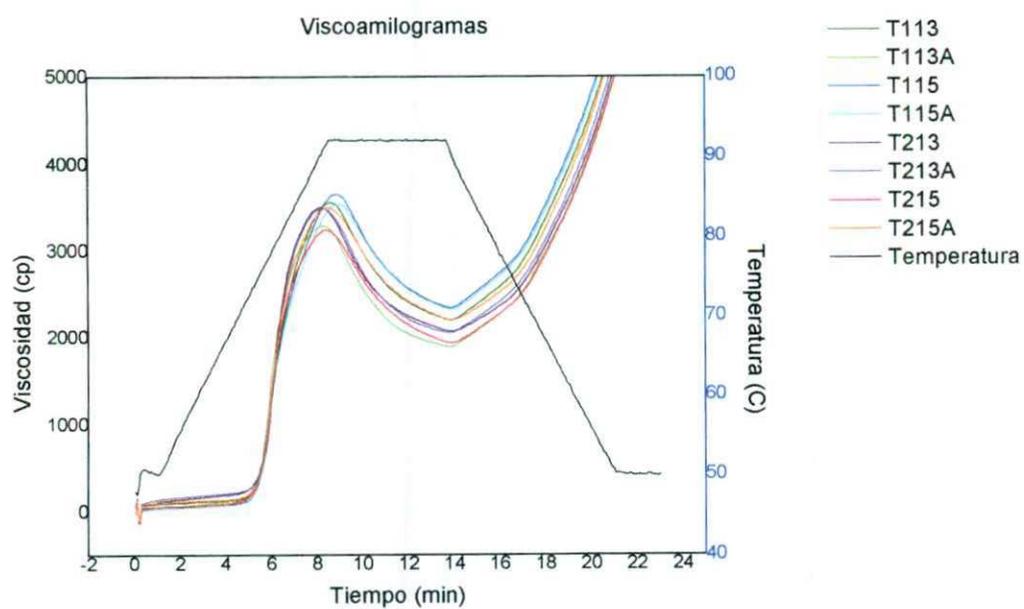


Figura 9. Viscoamilogramas de los productos extrudidos pulverizados.

VI.3. Desarrollo del producto

VI.3.1. Selección de la formulación base (control) del análogo de queso tipo manchego.

Cuadro 1. Resultados de los factores estudiados para la selección del queso control.

Tratamiento	Valor en código	TPFS	FDS	Kasal	Citrato de sodio	Fundido	Rendimiento	Dureza	Adhesividad	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad
1	---	0.3	0.3	0.3	0.3	3.75	84.54	456.10	-8.375	1.159	0.184	97.265
2	+++	0.75	0.75	0.75	0.75	1.00	86.52	2117.16	-34.632	0.881	0.721	1341.358
3	-+-	0.3	0.75	0.3	0.75	3.65	85.52	2603.14	-41.588	0.900	0.716	1678.056
4	++-	0.75	0.75	0.3	0.3	0.75	85.12	2205.80	-40.904	0.883	0.681	1322.354
5	++++	0.75	0.75	0.75	0.75	0.98	87.57	2088.40	-33.245	0.866	0.708	238.589
6	+--	0.75	0.3	0.3	0.75	1.60	87.55	1876.64	-29.928	0.897	0.744	1252.932
7	--+	0.3	0.3	0.75	0.75	5.25	86.71	1705.54	-28.710	0.907	0.711	1100.178
8	---	0.3	0.3	0.3	0.3	5.00	84.17	214.74	-1.502	1.155	0.166	41.065
9	--+	0.3	0.3	0.75	0.75	5.40	85.88	2245.23	-37.817	1.244	0.590	1624.116
10	+--	0.75	0.3	0.75	0.3	1.68	86.38	1975.10	-43.107	0.828	0.600	976.597
11	-+-	0.3	0.75	0.3	0.75	6.05	86.10	1377.98	-48.448	0.745	0.506	519.425
12	++-	0.75	0.75	0.3	0.3	0.95	88.51	2353.98	-67.358	0.910	0.640	1368.746
13	---	0.3	0.75	0.75	0.3	6.75	87.71	1563.92	-54.309	0.868	0.577	783.245
14	+--	0.75	0.3	0.75	0.3	1.15	86.89	1869.58	-24.831	0.907	0.716	1215.275
15	---	0.3	0.75	0.75	0.3	6.10	86.59	2290.22	-37.909	0.927	0.686	1456.221
16	+--	0.75	0.3	0.3	0.75	1.50	86.69	1849.24	-23.701	0.893	0.721	1190.035

VI.3.1.1. Fundido

Cuadro 17. Estimados para la respuesta de fundido del queso control

	Valor estimado	Error estándar	t	Prob> t
Intercepción	3.221875	0.177809	18.12	<.0001
Tripolifosfato de Sodio(0.3,0.75)	-2.021875	0.177809	-11.37	<.0001
Fosfato disódico(0.3,0.75)	0.05625	0.177809	0.32	0.7598
Kasal(0.3,0.75)	0.315625	0.177809	1.78	0.1138
Citrato de Sodio(0.3,0.75)	-0.04375	0.177809	-0.25	0.8118
Tripolifosfato de Sodio*Fosfato disódico	-0.3375	0.177809	-1.90	0.0942
Tripolifosfato de Sodio*Kasal	-0.315625	0.177809	-1.78	0.1138
Tripolifosfato de Sodio*Citrato de Sodio	0.1125	0.177809	0.63	0.5446

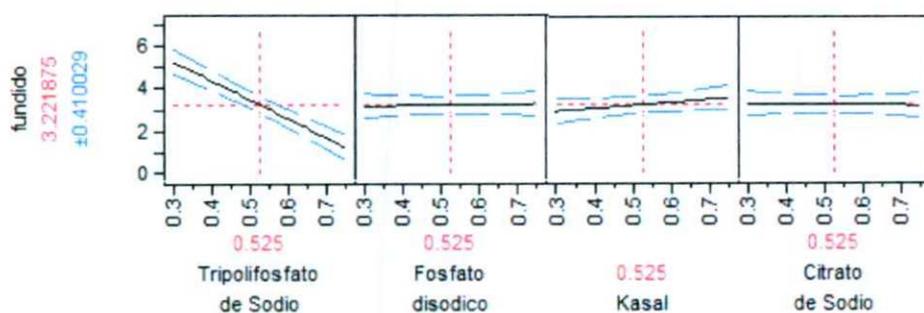


Figura 10. Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre el fundido del análogo de queso control.

VI.3.1.2. Análisis de perfil de textura.

VI.3.1.2.1. Dureza

Cuadro 18. Estimados sobre la respuesta de dureza en la formulación de un análogo de queso control.

	Valor estimado	Error estándar	t	Prob> t
Intercepción	1799.5483	97.08086	18.54	<.0001
Tripolifosfato de Sodio(0.3,0.75)	242.43919	97.08086	2.50	0.0371
Fosfato disódico(0.3,0.75)	275.52669	97.08086	2.84	0.0219
Kasal(0.3,0.75)	182.34581	97.08086	1.88	0.0972
Citrato de Sodio(0.3,0.75)	183.36831	97.08086	1.89	0.0956
Tripolifosfato de Sodio*Fosfato disódico	-126.1792	97.08086	-1.30	0.2299
Tripolifosfato de Sodio*Kasal	-211.7733	97.08086	-2.18	0.0607
Tripolifosfato de Sodio*Citrato de Sodio	-242.4958	97.08086	-2.50	0.0371

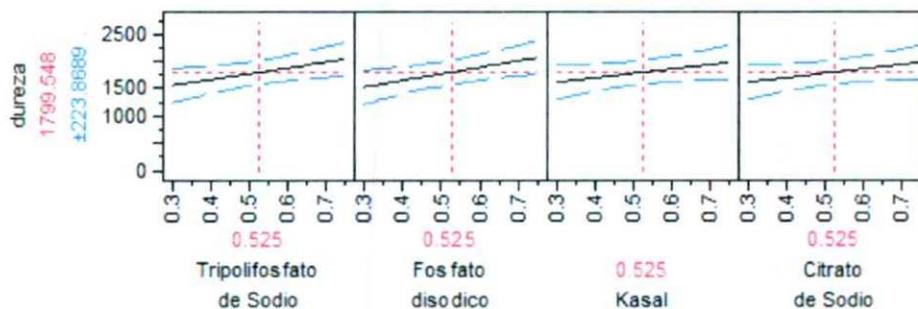


Figura 11. Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre la dureza del análogo de queso control.

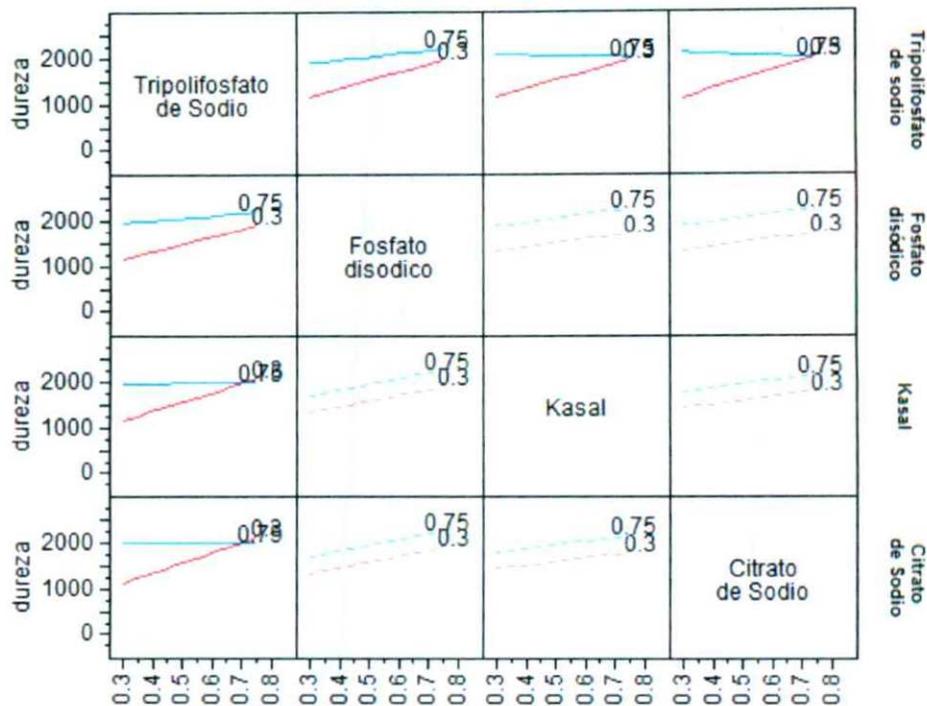


Figura 12. Gráfica del efecto de las interacciones de las sales fundentes sobre la dureza del análogo de queso control.

VI.3.1.2.1. Cohesividad

Cuadro 19. Estimados sobre la respuesta de cohesividad en la formulación de un análogo de queso control.

	Valor estimado	Error estándar	t	Prob> t
Intercepción	0.6041875	0.018412	32.82	<.0001
Tripolifosfato de Sodio(0.3,0.75)	0.0871875	0.018412	4.74	0.0015
Fosfato disódico(0.3,0.75)	0.0501875	0.018412	2.73	0.0260
Kasal(0.3,0.75)	0.0594375	0.018412	3.23	0.0121
Citrato de Sodio(0.3,0.75)	0.0729375	0.018412	3.96	0.0042
Tripolifosfato de Sodio*Fosfato disódico	-0.054062	0.018412	-2.94	0.0188
Tripolifosfato de Sodio*Kasal	-0.064562	0.018412	-3.51	0.0080
Tripolifosfato de Sodio*Citrato de Sodio	-0.040812	0.018412	-2.22	0.0575

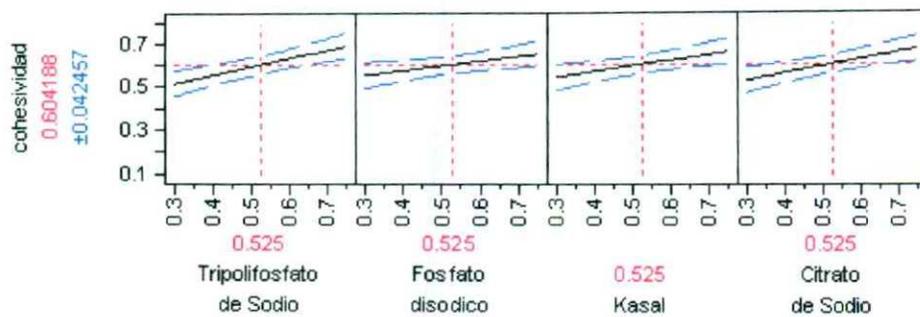


Figura 13. Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre la cohesividad del análogo de queso control.

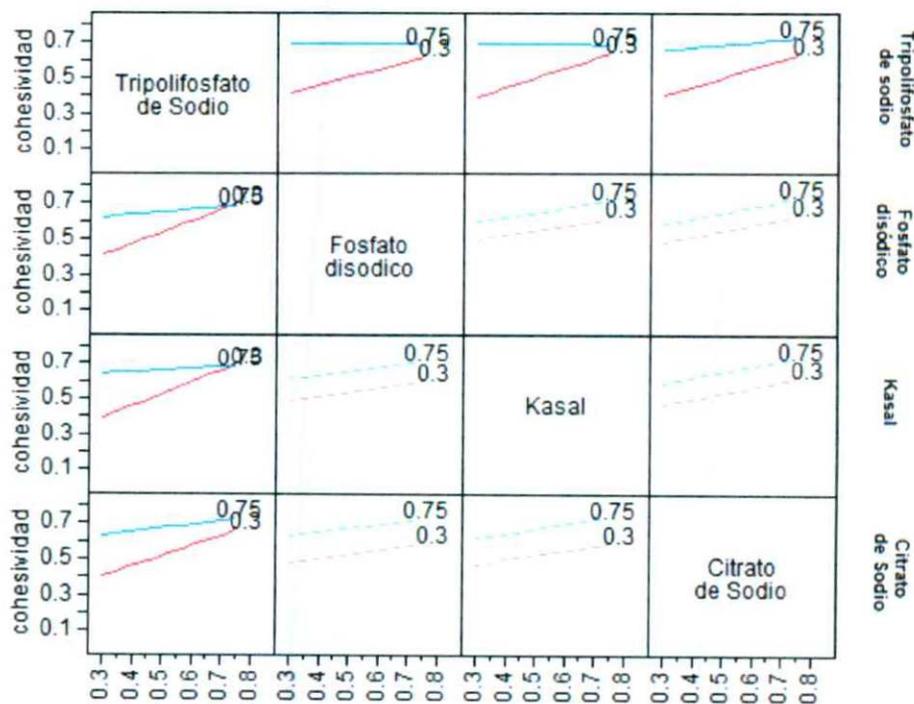


Figura 14. Gráfica del efecto de las interacciones de las sales fundentes sobre la cohesividad del análogo de queso control.

VI.3.1.2.1. Adhesividad

Cuadro 20. Estimados sobre la respuesta de adhesividad en la formulación de un análogo de queso control

	Valor estimado	Error estándar	t	Prob> t
Intercepción	-34.7665	2.436286	-14.27	<.0001
Tripolifosfato de Sodio(0.3,0.75)	-2.43425	2.436286	-1.00	0.3470
Fosfato disódico(0.3,0.75)	-10.03263	2.436286	-4.12	0.0034
Kasal(0.3,0.75)	-2.0535	2.436286	-0.84	0.4238
Citrato de Sodio(0.3,0.75)	0.020375	2.436286	0.01	0.9935
Tripolifosfato de Sodio*Fosfato disódico	3.198625	2.436286	1.31	0.2256
Tripolifosfato de Sodio*Kasal	5.3005	2.436286	2.18	0.0613
Tripolifosfato de Sodio*Citrato de Sodio	6.828875	2.436286	2.80	0.0231

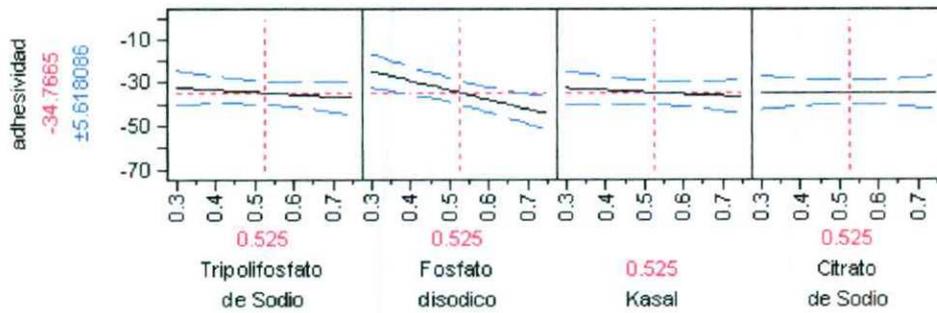


Figura 15. Gráfica del efecto de las sales fundentes sobre la adhesividad del análogo de queso control.

VI.3.2. Selección del análogo de queso adicionado con mezcla de almidón de maíz-CPS.

VI.3.2. Selección del análogo de queso adicionado con mezcla de almidón de maíz-CPS.

Cuadro 21. Resultados de las combinaciones siguiendo el diseño de mezclas para la elección de la formulación de un análogo de queso manchego.

Tratamiento	Proporciones del Diseño de Mezclas				Resultados						
	Caseína	Grasa	Agua	Mezcla	Rendimiento	Fundido	Dureza g	Adhesividad	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad
1	0.26	0.18	0.52	0.04	88.11	8.25	5968.92	-19.33	0.87	0.65	3358.09
2	0.26	0.15	0.50	0.09	90.60	8.35	6153.18	-13.35	0.87	0.71	3772.56
3	0.18	0.22	0.54	0.07	86.58	3.10	1516.16	-40.69	0.68	0.49	496.40
4	0.26	0.18	0.50	0.07	89.86	8.25	4761.86	-25.63	0.95	0.76	3423.24
5	0.26	0.17	0.52	0.06	90.40	7.90	3903.30	-24.78	0.91	0.75	2649.52
6	0.18	0.20	0.58	0.04	84.76	6.90	506.92	-26.89	0.41	0.36	74.74
7	0.21	0.22	0.53	0.04	88.36	3.70	1459.12	-31.18	0.86	0.61	761.82
8	0.22	0.22	0.50	0.07	88.16	3.95	2987.88	-29.90	0.91	0.67	1827.95
9	0.24	0.20	0.50	0.07	89.59	5.55	3892.62	-29.02	0.93	0.69	2524.42
10	0.26	0.20	0.50	0.04	91.03	7.20	3911.86	-18.04	0.89	0.72	2499.48
11	0.20	0.19	0.52	0.09	87.99	3.05	2879.32	-36.75	0.90	0.66	1717.92
12	0.22	0.19	0.54	0.06	88.59	4.70	2087.68	-32.27	0.87	0.63	1133.64
13	0.25	0.21	0.50	0.04	89.16	6.75	3053.74	-17.15	0.91	0.72	2019.58
14	0.26	0.15	0.55	0.04	89.10	8.35	3067.38	-62.37	0.88	0.64	1738.46
15	0.21	0.18	0.58	0.04	84.73	4.65	1541.22	-48.75	0.83	0.59	756.80
16	0.23	0.19	0.50	0.09	89.58	5.55	4216.82	-31.02	0.91	0.70	2670.72
17	0.23	0.15	0.55	0.07	87.96	6.50	3081.10	-30.68	0.86	0.66	1756.07
18	0.18	0.21	0.57	0.04	85.76	5.00	813.42	-38.95	0.60	0.46	221.39
19	0.20	0.22	0.52	0.07	90.34	2.80	1841.18	-43.72	0.72	0.50	661.89
20	0.20	0.17	0.58	0.06	87.68	4.25	1229.50	-46.29	0.84	0.60	624.99
21	0.25	0.15	0.56	0.04	87.18	7.65	3315.22	-20.07	0.87	0.67	1925.41
22	0.21	0.15	0.58	0.07	87.66	4.15	1463.62	-32.06	0.77	0.57	639.16

...Cuadro 21. Resultados de las combinaciones siguiendo el diseño de mezclas para la elección de la formulación de un análogo de queso manchego.

Tratamiento	Proporciones del Diseño de Mezclas				Resultados							
	Caseína	Grasa	Agua	Mezcla	Rendimiento	Fundido	Dureza g	Adhesividad	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad	
23	0.18	0.18	0.58	0.07	83.74	3.05	1145.7	-23.21	0.64	0.49	355.67	
24	0.18	0.19	0.54	0.09	87.83	2.5	1283.92	-36.09	0.74	0.54	513.51	
25	0.23	0.15	0.58	0.04	87.29	6.35	2015.08	-29.78	0.82	0.62	1016.36	
26	0.19	0.22	0.51	0.09	90.28	2.05	2053.16	-32.22	0.81	0.58	961.24	
27	0.22	0.15	0.54	0.09	89.01	5.05	3004.7	-18.49	0.89	0.71	1909.01	
28	0.18	0.22	0.56	0.04	83.06	3.98	834.5	-34.27	0.65	0.5	269.09	
29	0.18	0.22	0.51	0.09	87.93	2	1885.96	-28.54	0.86	0.61	988.97	
30	0.26	0.15	0.52	0.07	90.5	8.8	4014.7	-34.04	0.9	0.75	2694.64	
31	0.24	0.22	0.5	0.04	88.98	4.4	2929.16	-28.34	0.9	0.68	1794.04	
32	0.19	0.22	0.5	0.09	87.82	2	2635.12	-52.34	0.86	0.6	1347.89	
33	0.18	0.2	0.56	0.07	87.16	1.75	1220.7	-39.41	0.76	0.52	486.4	
34	0.23	0.19	0.55	0.04	87.39	4.25	2326.94	-39.34	0.86	0.63	1274.44	
35	0.18	0.15	0.58	0.09	87.16	2.8	1656.86	-36.25	0.86	0.61	860.75	

VI.4. Análisis de componentes principales (ACP) para el estudio del diseño de mezclas.

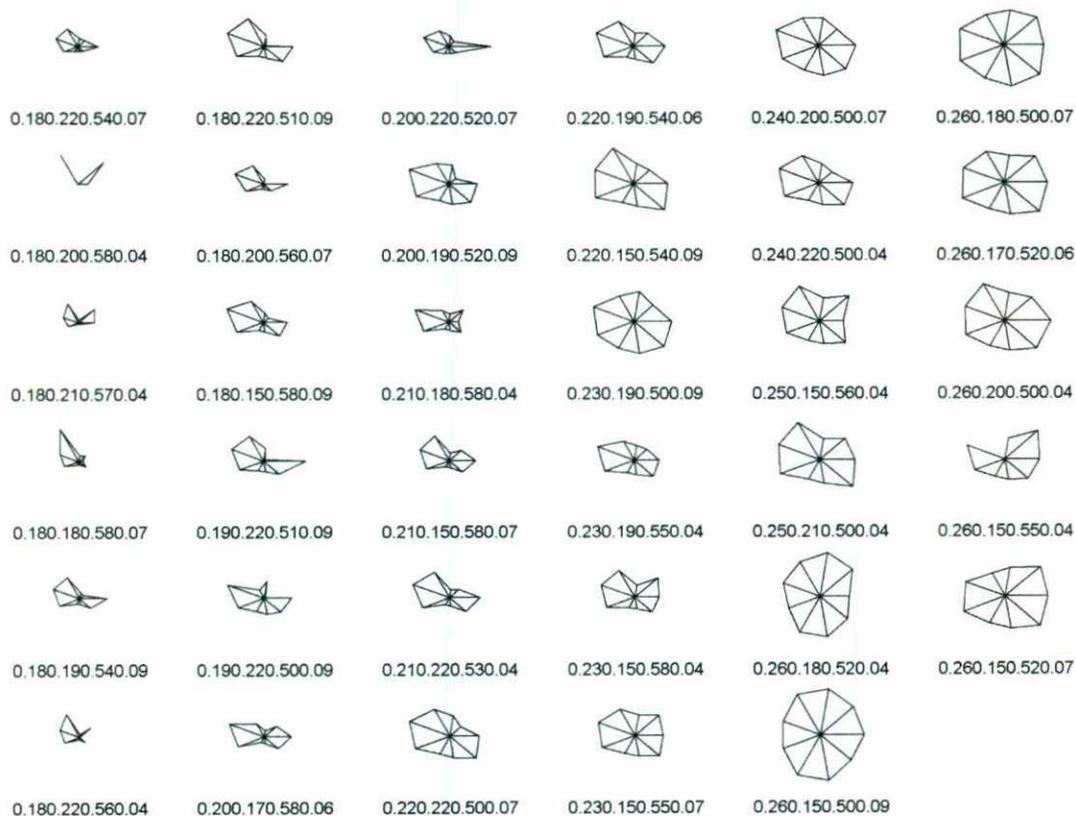


Figura 16. Área de estrellas de las diferentes mezclas

Cuadro 22. Componentes principales en correlación.

	CP1	CP2
Valor propio	6.4927	1.1366
Porcentaje de varianza recuperado	72.1414	12.6292
Porcentaje Acumulado	72.1414	84.7706

Cuadro 23. Vectores propios

Valores propios		
Rendimiento	0.29948	-0.30841
Fundido	0.26323	0.45891
Dureza	0.37065	0.11846
Adhesividad	0.18845	0.59938
Elasticidad	0.31654	-0.48383
Cohesividad	0.36540	-0.23354
Masticabilidad	0.38188	0.10227
Resilencia	0.38049	-0.08419

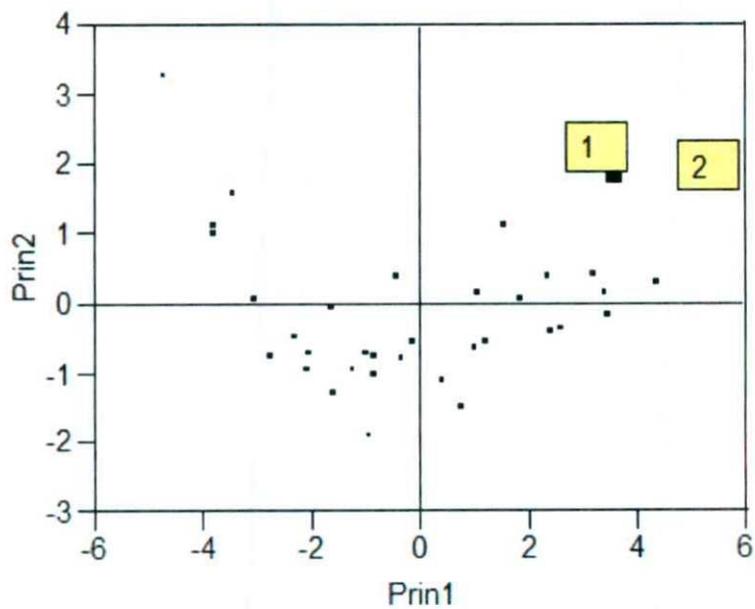


Figura 17. Gráfica de componentes principales

VI.4.1. Rendimiento

Cuadro 24. Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de rendimiento en la formulación de un análogo de queso manchego.

	Valor Estimado	Error Estandar	t	Prob> t
Caseína	14.860821	189.0378	0.08	0.9380
Grasa	227.25763	249.1712	0.91	0.3705
Agua	34.297561	61.95612	0.55	0.5848
Mezcla	-474.3774	556.1285	-0.85	0.4018
caseína*grasa	-76.06621	454.3132	-0.17	0.8684
caseína*agua	284.78174	395.4849	0.72	0.4782
grasa*agua	-165.7305	454.3132	-0.36	0.7183
caseína*Mezcla	430.12859	696.6008	0.62	0.5425
grasa*Mezcla	372.44423	757.6273	0.49	0.6273
agua*Mezcla	915.62788	696.6008	1.31	0.2006

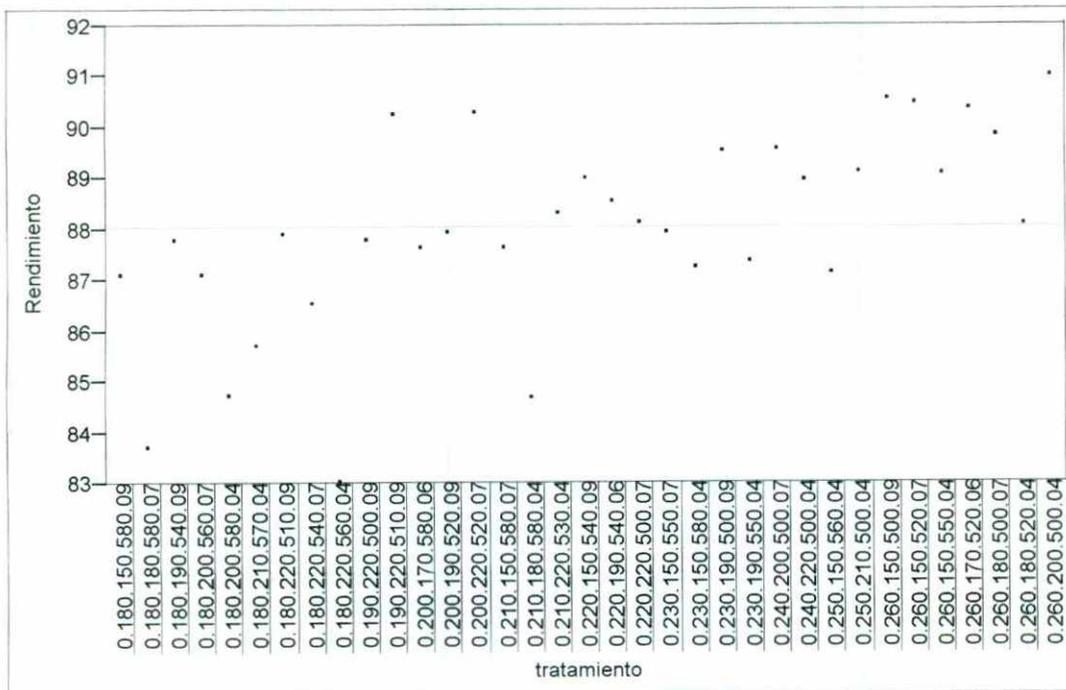


Figura 18. Gráfica de dispersión del rendimiento de los tratamientos evaluados en la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.

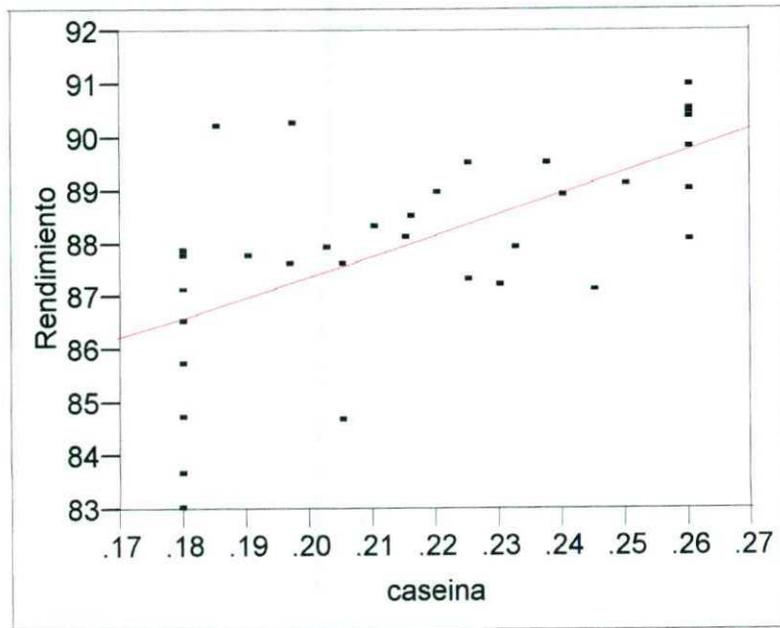


Figura 19. Gráfica de correlación entre el rendimiento y la cantidad de caseína para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.

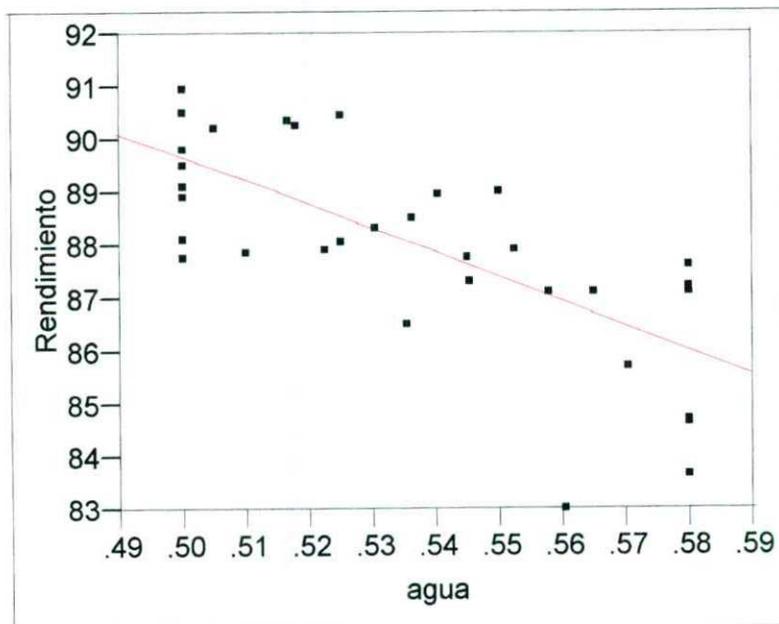


Figura 20. Gráfica de correlación entre el rendimiento y la cantidad de agua para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.

VI.4.2. Fundido

Cuadro 25. Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de fundido en la formulación de un análogo de queso manchego.

	Valor Estimado	Error Estandar	t	Prob> t
Caseína	494.61065	119.8796	4.13	0.0004
Grasa	-8.846159	158.0136	-0.06	0.9558
Agua	67.575622	39.28988	1.72	0.0978
Mezcla	337.47353	352.6726	0.96	0.3478
caseína*grasa	-729.9854	288.1057	-2.53	0.0179
caseína*agua	-840.059	250.7994	-3.35	0.0026
grasa*agua	7.5741859	288.1057	0.03	0.9792
caseína*Mezcla	-333.8998	441.754	-0.76	0.4568
grasa*Mezcla	-250.428	480.4544	-0.52	0.6068
agua*Mezcla	-749.9363	441.754	-1.70	0.1020

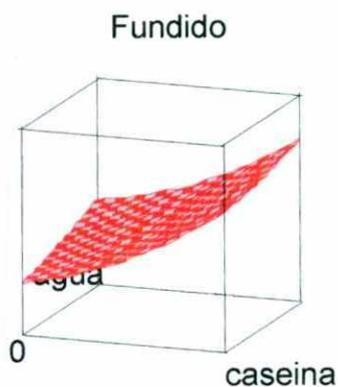


Figura 21. Gráfica del efecto de la interacción agua-caseína sobre el fundido en el desarrollo de un análogo de queso manchego.

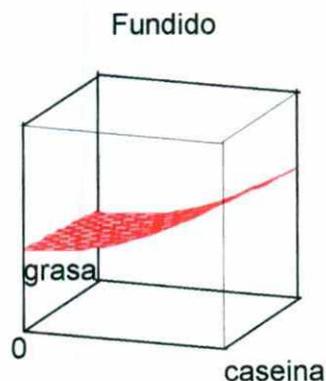


Figura 22. Gráfica del efecto de la interacción grasa-caseína sobre el fundido en el desarrollo de un análogo de queso manchego.

VI.4.3. Análisis de perfil de textura.

VI.4.3.1. Dureza

Cuadro 26. Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de dureza en la formulación de un análogo de queso manchego.

	Valor Estimado	Error Estándar	t	Prob> t
Caseína	152153.46	89475.55	1.70	0.1014
Grasa	-110267.4	117938	-0.93	0.3588
Agua	4596.1915	29325.13	0.16	0.8767
Mezcla	308457.36	263227.2	1.17	0.2523
caseína*grasa	-21622.59	215035.9	-0.10	0.9207
caseína*agua	-230699.9	187191.3	-1.23	0.2293
grasa*agua	159878.04	215035.9	0.74	0.4641
caseína*Mezcla	-323711.4	329715.7	-0.98	0.3356
grasa*Mezcla	-94715.88	358600.9	-0.26	0.7938
agua*Mezcla	-435177	329715.7	-1.32	0.1988

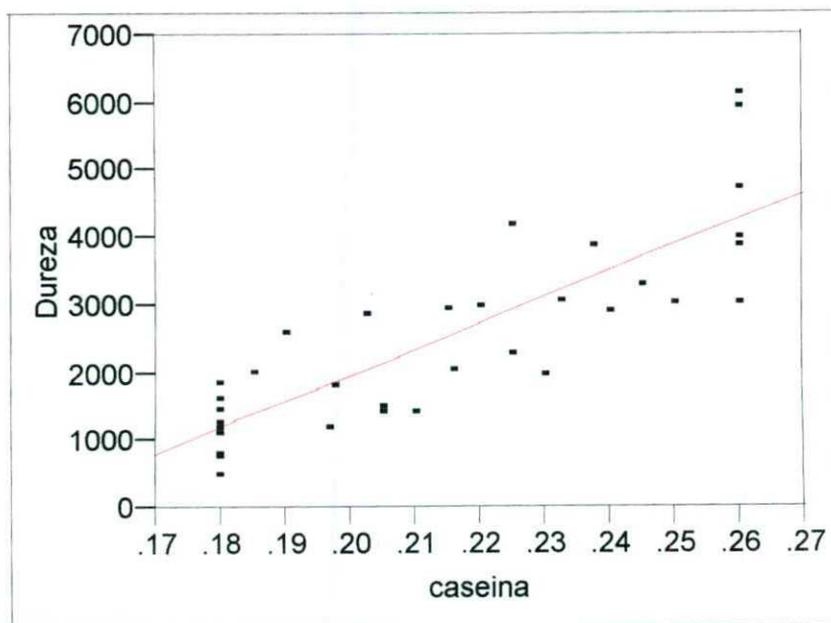


Figura 23. Gráfica de correlación entre la dureza y la cantidad de caseína para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.

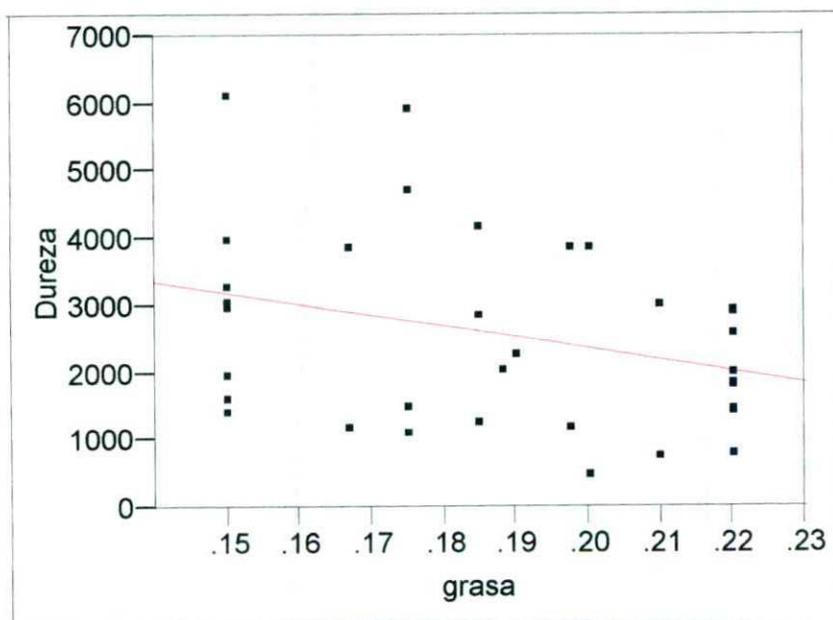


Figura 24. Gráfica de correlación entre la dureza y la cantidad de grasa para la selección de la formulación de un análogo de queso manchego.

Cuadro 27. Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de dureza en la formulación de un análogo de queso manchego excluyendo el dato 1.

	Valor Estimado	Error Estándar	t	Prob> t
Caseína	118268.61	48065.09	2.46	0.0215
Grasa	21469.67	65241.07	0.33	0.7449
Agua	28888.856	15985.35	1.81	0.0833
Mezcla	188798	141646.7	1.33	0.1951
caseína*grasa	-76457.11	115266.4	-0.66	0.5135
caseína*agua	-238160.8	100165.7	-2.38	0.0257
grasa*agua	-101672.2	119663	-0.85	0.4039
caseína*Mezcla	56287.677	182771.4	0.31	0.7608
grasa*Mezcla	-121491.1	191907.7	-0.63	0.5327
agua*Mezcla	-390995.5	176509.8	-2.22	0.0365

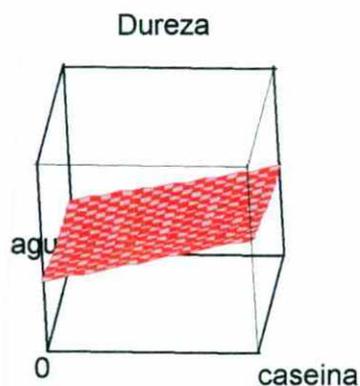


Figura 25. Gráfica del efecto de la interacción agua-caseína sobre la dureza en el desarrollo de un análogo de queso manchego.

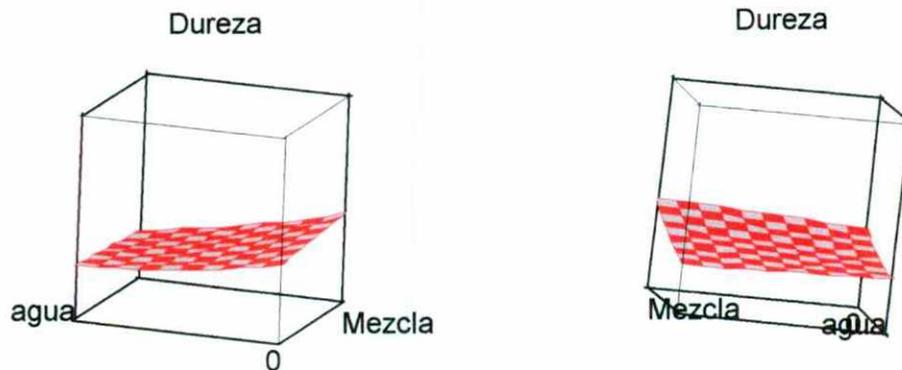


Figura 26. Gráfica del efecto de la interacción agua-mezcla sobre la dureza en el desarrollo de un análogo de queso manchego.

VI.4.3.2. Elasticidad

Cuadro 28. Efecto de los diferentes factores estudiados en el diseño de mezclas sobre la respuesta de elasticidad en la formulación de un análogo de queso.

	Valor Estimado	Error Estándar	t	Prob> t
Caseína	-29.18385	10.30455	-2.83	0.0090
Grasa	-1.034253	13.58246	-0.08	0.9399
Agua	-3.647248	3.377261	-1.08	0.2905
Mezcla	0.9153773	30.31486	0.03	0.9762
caseína*grasa	56.42285	24.76485	2.28	0.0315
caseína*agua	57.321288	21.55809	2.66	0.0135
grasa*agua	-3.011073	24.76485	-0.12	0.9042
caseína*Mezcla	7.1845444	37.97208	0.19	0.8515
grasa*Mezcla	1.4069274	41.29867	0.03	0.9731
agua*Mezcla	16.416449	37.97208	0.43	0.6692

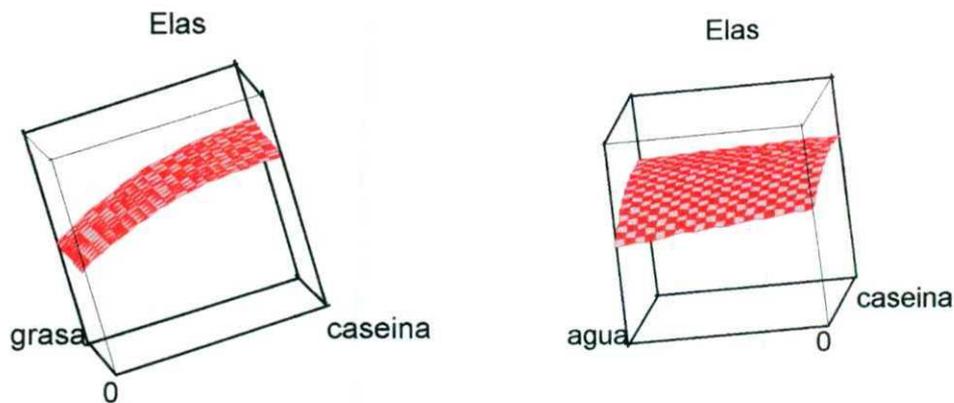


Figura 27. Gráfica del efecto de la interacción caseína-agua y caseína-mezcla la dureza en el desarrollo de un análogo de queso manchego.

VI.4.4. Análisis sensorial.

Cuadro 29. Tratamientos evaluados en el análisis sensorial.

Tratamiento	Siglas	Significado de las siglas
T11 (0.2-0.19-0.52-0.09)	SP9	Sustituto de proteína (9 % de mezcla del almidón-CPS)
T27 (0.22-0.15-0.54-0.09)	SPYG	Sustituto de proteína y grasa (9 % de mezcla del almidón-CPS)
T2 (0.26-0.15-0.5-0.09)	SG9	Sustituto de grasa (9 % de mezcla del almidón-CPS)
T4 (0.26-0.18-0.5-0.07)	SG7	Sustituto de grasa (7 % de mezcla del almidón-CPS)
T10 (0.26-0.2-0.5-0.04)	SG4	Sustituto de grasa (4 % de mezcla del almidón-CPS)
	CTL	Queso comercial análogo tipo manchego Atlan que se utilizó como queso control.

Cuadro 30. Información demográfica de los consumidores encuestados según edad.

Edad (años)	18 (n=9)	19-25 (n=23)	26-35 (n=28)	36-45 (n=10)	46-55 (n=18)	56-80 (n=12)
Género						
Femenino (n=58)	6.89%	24.13%	24.13%	12.06%	15.51%	17.24%
Masculino (n=42)	11.90%	21.42%	33.33%	7.14%	21.43%	4.76%
Persona que compra el queso						
Madre (n=67)	5.97%	26.87%	26.87%	5.97%	19.40%	14.93%
Padre (n=13)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Hijo (n=7)	14.29%	14.29%	42.86%	14.29%	14.29%	0.00%
Soltero(n=9)	0.00%	42.86%	14.29%	28.57%	14.29%	0.00%
Otros (n=4)	0.00%	0.00%	50.00%	25.00%	25.00%	0.00%
Tipo de queso						
Fresco (n=78)	7.69%	23.08%	29.49%	11.54%	16.67%	11.54%
Madurado (n=4)	0.00%	25.00%	50.00%	0.00%	25.00%	0.00%
Procesado (n=18)	16.67%	22.22%	16.67%	5.56%	22.22%	16.67%
Forma de consumo						
Para gratinar (n=30)	16.67%	13.33%	36.67%	10.00%	16.67%	6.67%
Platillos (n=11)	9.09%	18.18%	36.36%	0.00%	18.18%	18.18%
Quesadillas(n=54)	3.70%	29.63%	24.07%	12.96%	18.52%	11.11%
Solo(n=5)	20.00%	20.00%	0.00%	0.00%	20.00%	40.00%
Factor que afecta preferencia						
Disponibilidad (n=2)	50.00%	0.00%	0.00%	0.00%	50.00%	0.00%
Precio(n=7)	0.00%	14.29%	14.29%	14.29%	57.14%	0.00%
Sabor(n=80)	8.75%	27.50%	25.00%	11.25%	13.75%	13.75%
Salud(n=8)	0.00%	12.50%	50.00%	0.00%	25.00%	12.50%
Textura(n=4)	25.00%	0.00%	75.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Número de veces que se consume queso al mes						
1 (n=3)	66.67%	0.0%	33.33%	0.0%	0.0%	0.0%
2-4 (n=20)	0.0%	35%	50%	10%	5%	0.0%
Mas de 4 (n=77)	9.09%	20.78%	22.08%	10.39%	22.08%	15.58%

Cuadro 31. Preferencias de los consumidores según la forma de consumo de queso

Forma de Consumo	Para gratinar (n=30)	Platillos (n=11)	Quesadillas (n=54)	Solo (n=5)
<u>Tipo de queso</u>				
Fresco (n=78)	32.05%	10.26%	53.85%	3.85%
Madurado (n=4)	50.00%	0.00%	50.00%	0.00%
Procesado (n=18)	16.67%	16.67%	55.56%	11.11%
<u>Factor que afecta preferencia</u>				
Disponibilidad (n=2)	50.00%	50.00%	0.00%	0.00%
Precio(n=6)	66.67%	0.00%	33.33%	0.00%
Sabor(n=80)	28.21%	10.26%	58.97%	5.13%
Salud(n=8)	20.00%	10.00%	40.00%	10.00%
Textura(n=4)	33.33%	33.33%	66.67%	0.00%
<u>Clase social por colonia</u>				
Alta (n=14)	21.42%	21.42%	50%	7.14%
Media (n=72)	31.94%	5.55%	58.33%	4.16%
Baja (n=14)	28.57%	28.57%	35.71%	7.14%

Cuadro 32. Preferencias por los diferentes tratamientos según el cuestionario de los consumidores.

Muestra	1 T2 (n=9)	2 T4 (n=20)	3 T10 (n=11)	4 T11 (n=20)	5 T27 (n=19)	6 CTL (n=15)	7 CTL (n=6)
Género							
Femenino (n=58)	6.9%	15.52%	8.62%	20.69%	22.41%	20.69%	5.17%
Masculino (n=42)	11.9%	26.19%	14.29%	19.05%	14.29%	7.14%	7.14%
Número de veces que se consume queso al mes							
1 (n=3)	33.33%	33.33%	0.0%	0.0%	33.33%	0.0%	0.0%
2-4 (n=20)	10%	20%	10%	10%	20%	30%	0.0%
Mas de 4 (n=77)	7.79%	19.48%	11.69%	23.38%	18.18%	11.69%	7.79%
Persona que compra el queso							
Madre (n=67)	5.97%	20.9%	13.43%	17.91%	16.42%	17.91%	7.46%
Padre (n=13)	23.08%	15.38%	0.0%	23.08%	23.08%	15.38%	0.0%
Hijo (n=7)	0.0%	0.0%	0.0%	42.86%	28.57%	14.29%	14.29%
Soltero(n=9)	11.11%	22.22%	22.22%	11.11%	33.33%	0.0%	0.0%
Otros (n=4)	25%	50%	0.0%	25%	0.0%	0.0%	0.0%
Tipo de queso							
Fresco (n=78)	7.69%	19.23%	11.54%	24.36%	17.95%	14.1%	5.13%
Madurado (n=4)	0.0%	25%	25%	25%	0.0%	0.0%	25%
Procesado (n=18)	16.67%	22.22%	5.56%	0.0%	27.78%	22.22%	5.56%
Forma de consumo							
Para gratinar (n=30)	22.22%	30.0%	45.45%	20.0%	36.84%	33.33%	16.67%
Platillos (n=11)	0.0%	27.27%	0.0%	27.27%	36.36%	9.09%	0.0%
Quesadillas(n=54)	12.96%	18.52%	11.11%	22.22%	12.96%	12.96%	9.26%
Solo(n=5)	0.0%	20%	0.0%	20%	20%	40%	0.0%
Factor que afecta preferencia							
Disponibilidad (n=2)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%	0.0%	0.0%
Precio(n=6)	0.0%	0.0%	16.67%	33.33%	16.67%	16.67%	16.67%
Sabor(n=80)	10.0%	21.25%	11.25%	18.75%	17.5%	16.25%	5.00%
Salud(n=8)	12.5%	12.5%	12.5%	25%	25%	0.0%	12.5%
Textura(n=4)	0.0%	50%	0.0%	25%	0.0%	25%	0.0%

Cuadro 33. Probabilidades obtenidas según prueba de Pearson en las tablas de contingencia de los resultados de los cuestionarios a consumidores.

*valores menores a 0.05 indican una diferencia significativa.

Factor base en el estudio de las tablas de contingencia	Segundo factor estudiado en las tablas de contingencia	Probabilidad según prueba de Pearson*
Edad	Sexo	0.3347
	Consumo mensual	0.0032*
	Tipo de queso	0.863
	Forma de consumo	0.3847
	Factor que afecta preferencia	0.0727
	Persona que comprar el queso	0.3564
Forma de consumo del queso	Tipo de queso	0.6111
	Factor que afecta la preferencia	0.553
	Colonia	0.162
Resultados de preferencia según el mapeo interno de preferencia correspondiente al producto en general.	Sexo	0.3402
	Consumo mensual	0.5302
	Tipo de queso	0.3893
	Forma de consumo	0.6934
	Factor que afecta preferencia	0.7545
	Persona que comprar el queso	0.5453
	Edad	0.5318
	Profesión	0.657

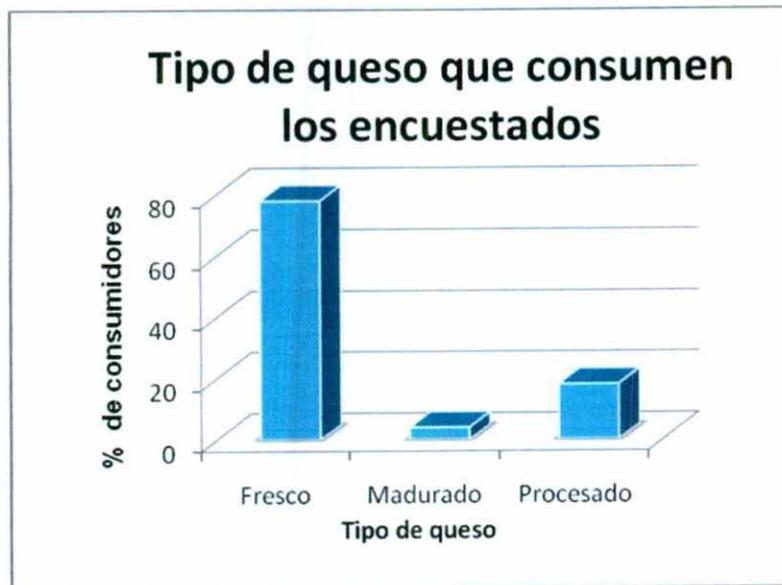


Figura 28. Preferencias del tipo de queso de los consumidores encuestados.

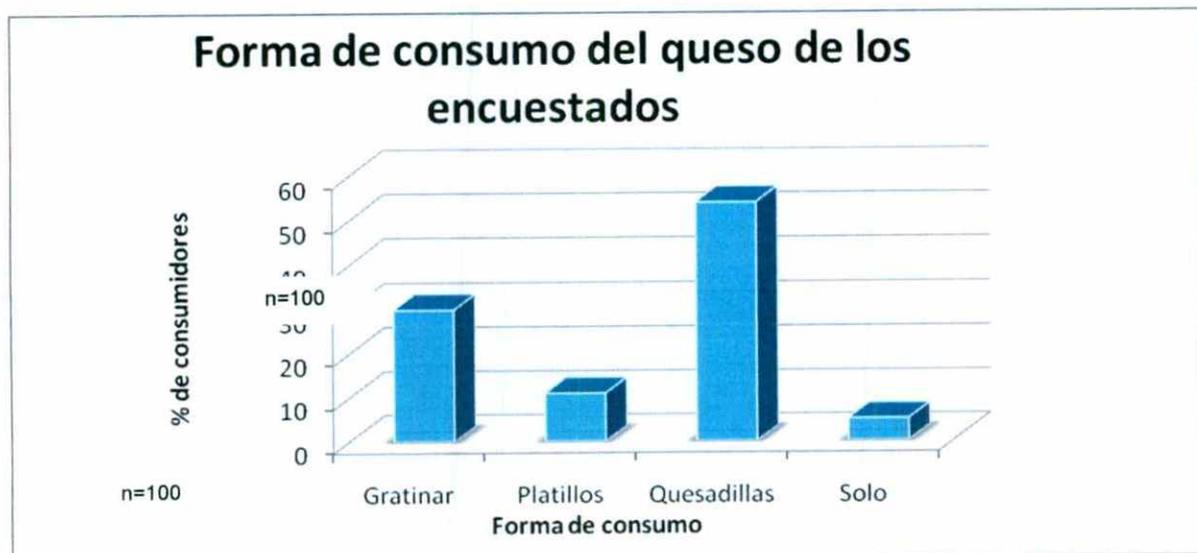


Figura 29. Preferencias en la forma de consumo de queso de los encuestados.



Figura 30. Factores que afectan el consumo de queso de los encuestados.

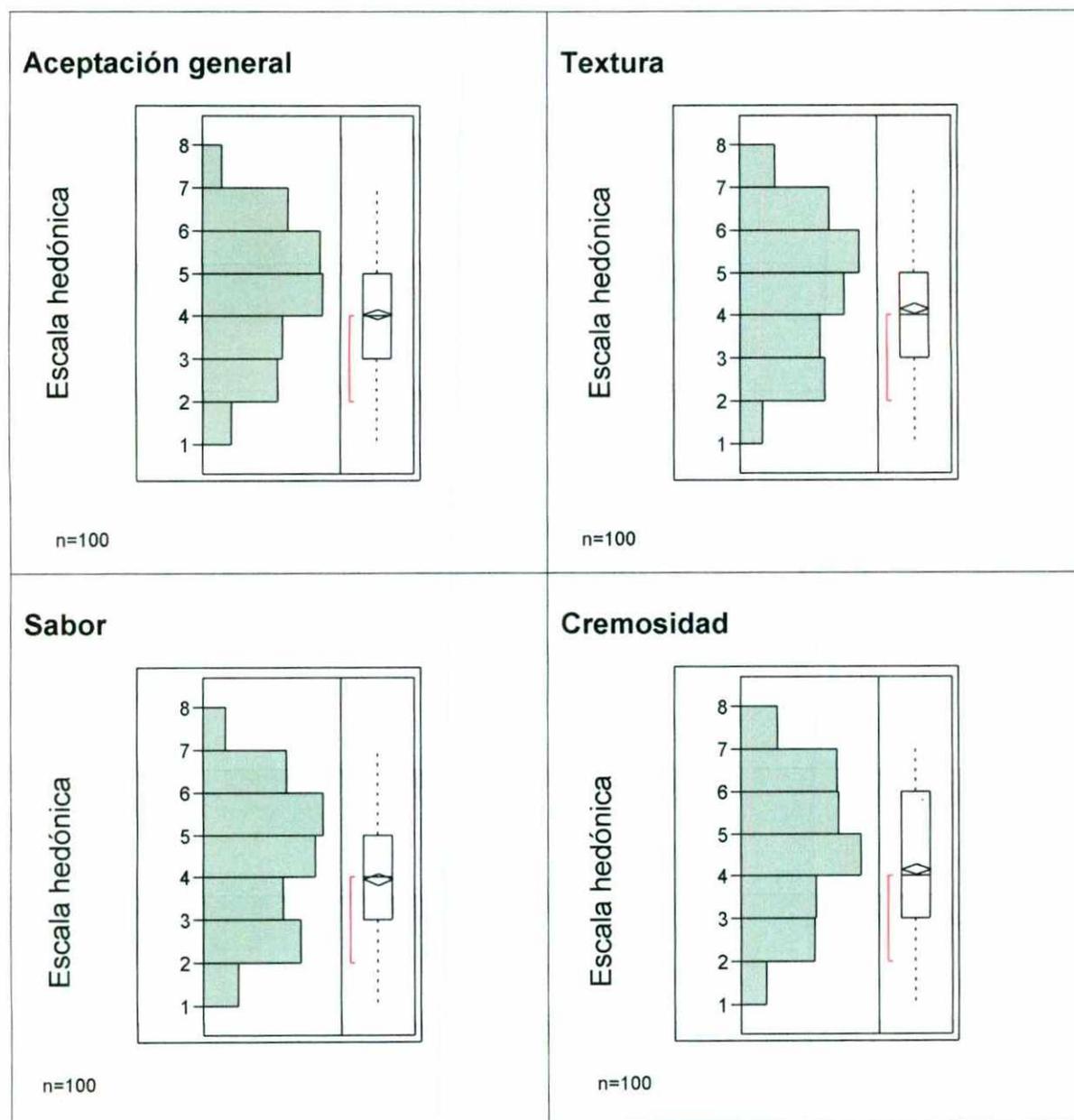


Figura 31. Distribución de los 4 atributos evaluados en el análisis sensorial
n=100

1= No me gusta para nada 2= No me gusta 3= Me disgusta un poco
4=Ni me gusta ni me disgusta 5=Me gusta poquito 6=Me gusta 7=Me gusta mucho

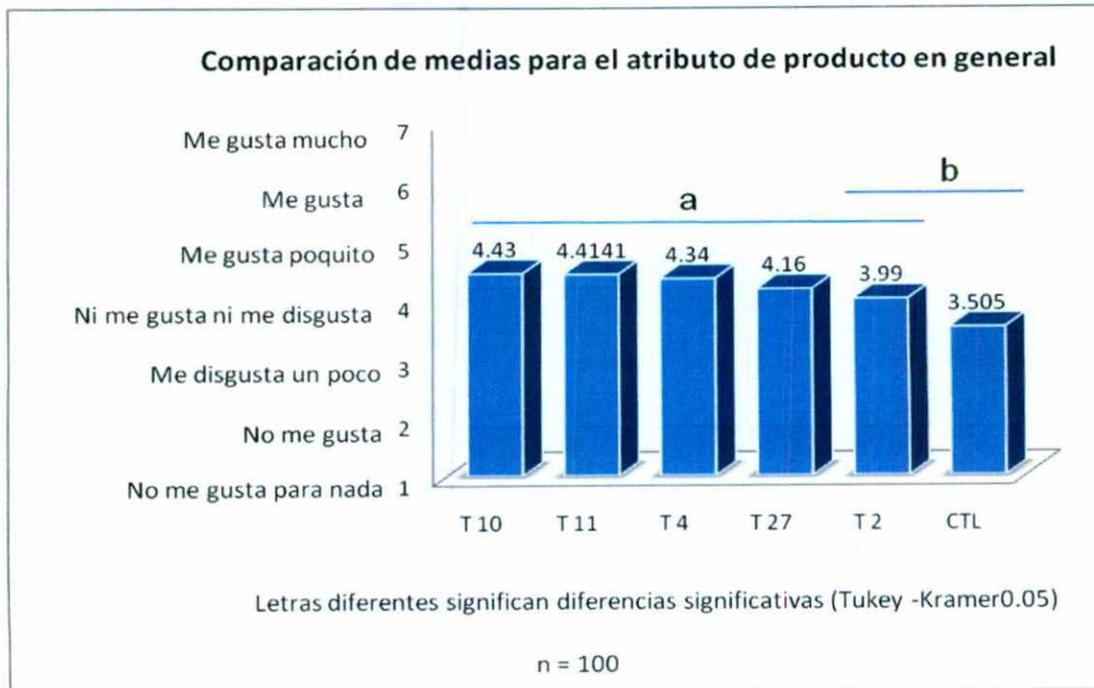


Figura 32. Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias del producto en general.

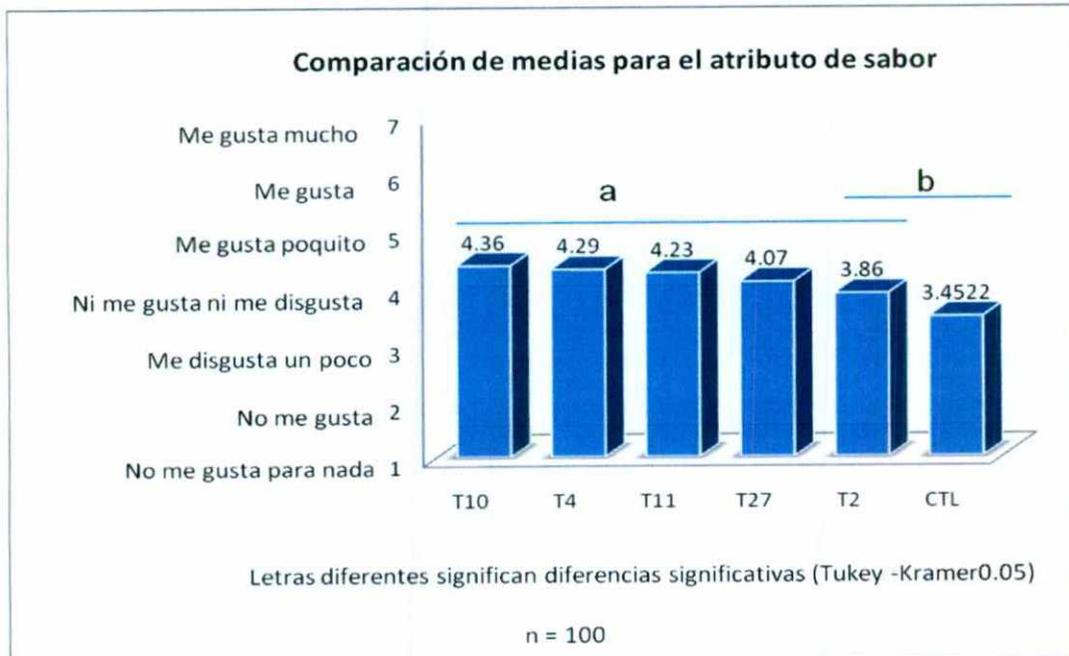


Figura 33. Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias del sabor.



Figura 34. Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias de la textura.

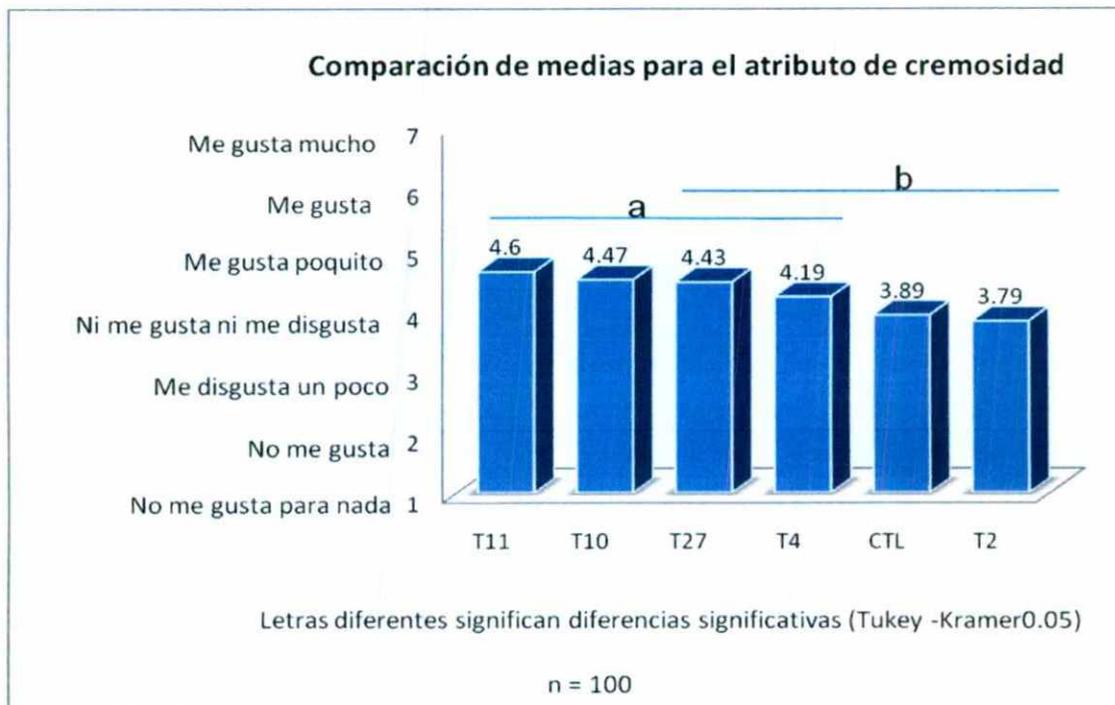


Figura 35. Gráfica del análisis de Tukey-Kramer para establecer las diferencias entre medias de la cremosidad.

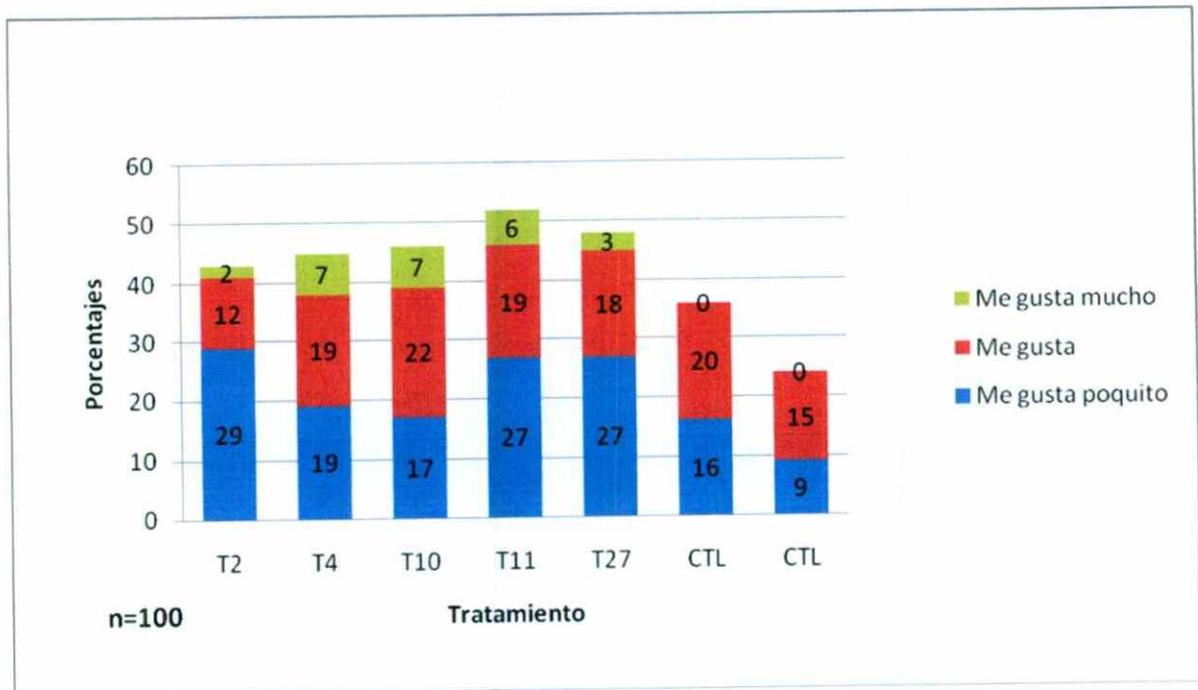
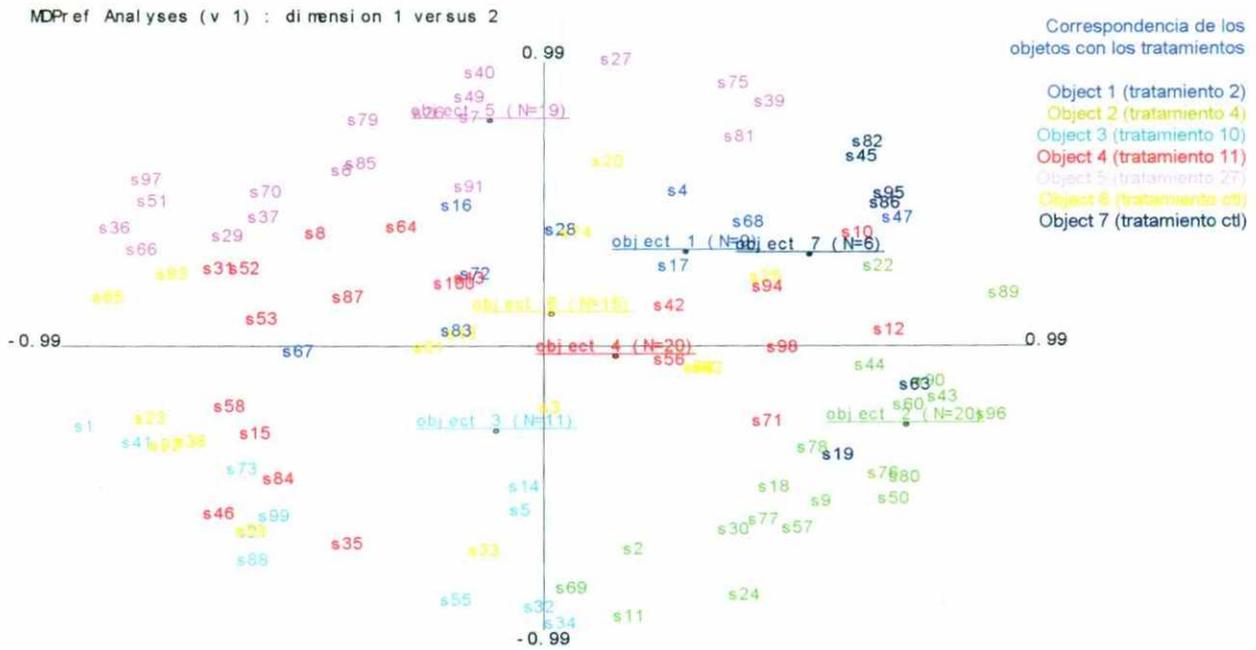


Figura 36. Preferencia general de muestras de queso manchego (n=100).

Figura 37. Mapa de preferencia del producto en general.



Cuadro 34. Correspondencia de los objetos con los tratamientos estudiados en el mapa de preferencia.

Tratamiento	Número de objeto	Número de consumidores que prefirieron este tratamiento
T2 (0.26-0.15-0.5-0.09)	1	9
T4 (0.26-0.18-0.5-0.07)	2	20
T10 (0.26-0.2-0.5-0.04)	3	11
T11 (0.2-0.19-0.52-0.09)	4	20
T27 (0.22-0.15-0.54-0.09)	5	19
Control	6	15
Control	7	6

VII. DISCUSIÓN

VII.1. Caracterización de los extrudidos.

VI.1.1. Apariencia física.

La tecnología de extrusión es un proceso con diversas aplicaciones. El cambio en alguna de sus variables afecta al producto extrudido. Es por eso que es necesario el estudio del efecto de los factores que ocasionan dichas diferencias.

En la Figura 8 se muestran fotografías de los extrudidos obtenidos. Se aprecia una diferencia visual entre los extrudidos procesados usando dados con diferente diámetro. Todos los tratamientos presentaron burbujas aunque en diferente proporción. Los extrudidos procesados con el dado de 3 mm presentan una menor cantidad, y los extrudidos del tratamiento 115, es decir procesados con tornillo 1:1 y dado de 5 mm son los que presentaron mayor número de burbujas.

Esto de acuerdo con Kokini y Moraru (2003) implica que hubo un mayor número de núcleos a partir de los cuales se formaron las burbujas. Este tratamiento es el que tenía menos presión interna, puesto que tenía una compresión baja con el tornillo 1:1 y el dado con mayor abertura.

VI.1.2. índice de expansión

Se analizaron los resultados mostrados en el Cuadro 10 con el programa JMP versión 5. Después de este análisis se concluyó que la compresión dada por el tipo de tornillo utilizado, afecta significativamente el índice de expansión ($p = 0.035$). El uso del tornillo 1:1 resulta en un índice de expansión menor que el obtenido mediante el uso del tornillo 2:1. Esto está en concordancia con lo que menciona Kokini y Moraru (2003). De acuerdo con estos autores, se presenta una mayor presión dentro de la masa en un tornillo con una relación de compresión de 2:1 lo que ocasiona que al darse un cambio de presión más brusca al salir del extrusor, se observe una mayor expansión del extrudido. Esto puede resultar interesante para

empresas que trabajan con extrudidos tales como los fabricantes de productos de cereales donde podrán obtener un producto con mayor volumen, y otras propiedades tales como solubilidad y absorción de agua sin alterar.

Con relación al tamaño del dado no se presenta una diferencia significativa entre ambos diámetros al realizar el análisis de varianza. Esto igualmente tiene una importancia tecnológica ya que en ciertos productos se busca una diversificación de ellos con el cambio de formato. Sin cambiar sus demás propiedades. Esto se cumple en los tratamientos estudiados en este trabajo, que fueron tratados a una humedad relativamente alta de 30%. Kokini y Moraru (2003) encontraron que una disminución en la abertura del dado, resulta en un incremento en el índice de expansión. Sin embargo ellos hacen referencia a la relación longitud/diámetro mencionando que el diámetro afecta la expansión radial y la longitud la expansión en general.

VI.1.3. Densidad Aparente

Se analizaron los resultados mostrados en el Cuadro 11 para ver las diferencias significativas entre los tratamientos. Se observó que para el grado de compresión, no existe una diferencia significativa ($p=0.0798$) aunque se aprecia una tendencia donde los tratamientos pasados a un tornillo de compresión de 2:1 son los que presentaron una densidad aparente menor. En cuanto al tamaño del dado se puede observar que hay diferencia significativa ($p=0.0077$) donde se observa que se tiene una densidad aparente menor usando el dado de 5 mm. Un incremento en la abertura del dado, resulta en un aumento en la densidad aparente. Kokini y Moraru (2003) atribuyen este cambio a la reducción de las fuerzas normales dentro del dado y al aumento de viscosidad dada por una disminución en la velocidad de corte.

Zazueta y col. (2001) encontraron que existe una relación entre el IE y la densidad aparente, encontrando que se presenta una densidad menor cuando se tienen IE altos. Al producirse una expansión mayor de acuerdo al tipo de tornillo utilizado, el

volumen del extrudido aumentará sin incrementar su masa, haciendo así que la densidad aparente sea menor.

VI.2. Caracterización de los extrudidos pulverizados.

VI.2.1. Color

No se presenta ninguna diferencia significativa entre los diferentes tratamientos en la respuesta de color después de analizar los datos presentados en el Cuadro 12. Morales (2006) encontró que el pH y la concentración de proteína tenían influencia en el color de las mezclas de almidón-proteína de suero, atribuyó que los cambios en el color durante la extrusión pueden ser utilizados como indicadores de la intensidad del proceso, concernientes a cambios químicos, o pérdida del valor nutricional en el alimento.

Kim y Maga (1987) evaluaron el efecto de harinas de maíz, papa y arroz con distintas proporciones de CPS (0-20%), obteniendo que altas temperaturas de extrusión y bajos contenidos de humedad influyen en el parámetro b por el incremento en reacciones de oscurecimiento. En este trabajo no hubo cambio en la formulación de los distintos tratamientos por lo que el cambio en color no se aprecia de forma significativa.

VI.1.5. índice de absorción de agua (IAA) y solubilidad en agua (ISA) a 30° C y 75°C.

VI.2.2 índice de absorción de agua a 30°C y 75°C

Se evaluaron estadísticamente los resultados que se muestran en el Cuadro 13. A 30°C se observa que no presentaron diferencias significativas en el tipo de compresión ($p= 0.76$) ni en el tipo de dado utilizado ($p= 0.41$).

La interacción de dado-tornillo genera un efecto mayor aunque aun así no es significativo ($p =0.25$).

A 75°C tampoco se observa una diferencia significativa ni por el tamaño de dado ($p=0.12$) ni por el tornillo utilizado ($p=0.26$). Este parámetro es de suma importancia ya que en el desarrollo del análogo de queso se busca un sustituto de grasa y de proteína y la mezcla debe tener un IAA alto que permita que el tratamiento elegido absorba agua y con esto de una textura apropiada en un queso manchego. En este caso se puede observar que este parámetro tiene una respuesta similar sin importar el tipo de tornillo o dado utilizado.

Dentro de los tratamientos se utilizó un pH alcalino puesto que se buscaba una mayor absorción de agua. La hidrólisis alcalina que es menos severa que refleja una mayor integridad de los gránulos y por ende mayor absorción (Morales, 2006). En este estudio se utilizó pH de 8. El ISA indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando se somete a un exceso de líquido el almidón. Con la hidrólisis ácida la cantidad de sólidos solubles es mayor.

VI.2.3 índice de solubilidad en agua a 30°C y 75°C

A 30°C se observa que el tamaño de dado no afecta en el ISA ($p=0.74$). En cuanto al tipo de tornillo se observa que con una compresión menor, es decir usando el tornillo 1:1 se obtiene un ISA menor ($p=0.028$), encontrando así una diferencia significativa entre ambos tipos de tonillo utilizados. La degradación que sufren los gránulos de almidón y el concentrado de proteína de suero hace que se formen compuestos que resultan menos solubles en agua a 30°C. Cuando se tiene un tornillo 2:1 existe una mayor degradación en el granulo que permite posteriormente en el análisis de solubilidad una mayor solubilidad en agua. Este parámetro es importante cuando se trata de el uso de las mezclas en nuestro producto final, en este caso, el queso manchego, ya que se busca que la mayor parte de la mezcla se encuentre de manera soluble para que pueda realizar su función como sustituyente de grasa o proteína, dependiendo el tratamiento. A 75°C se observa que la diferencia observada a 30°C dada por el tipo de tornillo utilizado se pierde al procesar las mezclas a una temperatura más alta. Dentro del desarrollo del análogo

de queso se utilizan temperaturas entre 60 °C -70 °C, por lo que se espera el mismo resultado de tratamientos tratados con tornillo 1:1 y 2:1.

VI.2.4. Fuerza de penetración al gel

El uso del dado 5 mm como se aprecia en el Cuadro 14, forma un gel mas fuerte ya que se requiere más fuerza para penetrarlo aunque esta diferencia no sea significativa ($p= 0.72$). Con relación a la compresión, el uso del tornillo 1:1 nos dará geles más fuertes que requerirán mayor fuerza para su rompimiento. En este caso tampoco podemos hablar de diferencias significativas ($p =0.21$).

VI.2.5. Perfil de viscosidad

En la Figura 9 se pueden ver todos los viscoamilogramas de los diferentes tratamientos. Se puede observar que todos tienen un comportamiento similar a lo largo del calentamiento y enfriamiento dado por el equipo. Los resultados específicos de las diferentes viscosidades se presentan en el Cuadro 15. No existe diferencia significativa en esta respuesta. El promedio de la viscosidad máxima alcanzada esta en 3477 cP que es un valor ligeramente mayor a los obtenidos por Morales (2006) bajo las mismas condiciones de pH 8 y humedad alta de 30%. La viscosidad de retrogradación tiene valores igualmente elevados al compararlos con los obtenidos por Morales en ese mismo estudio. Se buscan valores altos de esta viscosidad máxima dado que esta es un indicador de la capacidad de retención de agua. Al aumentar el contenido de humedad y pH también aumenta la Viscosidad de retrogradación. Bajos niveles de viscosidad de retrogradación se asocia a geles débiles y poco estables (Morales 2006).

VI.3. Desarrollo del producto

VI.3.1. Selección de la formulación base (control) del análogo de queso tipo manchego.

Para que la red de caseína se pueda formar, esta necesita estar soluble para que posteriormente pueda atrapar las partículas de grasa y agua presentes en la mezcla. Para ello es de suma importancia la presencia de sales fundentes. Dependiendo de la proporción y tipo de estas sales, se tendrá un queso con una funcionalidad distinta. En el modelo que se siguió se buscó encontrar una buena formulación o mezcla de estas sales que permitiera obtener una textura similar a la del queso manchego.

Los resultados obtenidos se muestran en la el Cuadro 16. Cada parámetro de respuesta del análisis de perfil de textura se estudió por separado para analizar el efecto de la concentración y tipo de fosfato empleados sobre cada parámetro.

VI.3.1.1.Fundido

Esta respuesta fue de suma importancia para la elección de la formulación que se escogió para el queso control. Esto debido a que se espera que el producto elaborado presente un buen fundido, sin que forme hebra, con una consistencia firme y cremosa. De acuerdo con el análisis de varianza mostrado en el Cuadro 17, el factor que más influye en la respuesta de fundido es el tripolifosfato de sodio ($p < 0.0001$), que afecta negativamente el fundido del queso como se muestra en la Figura 10 por esto, se tomo la dosis más baja, no se elimino de la formulación por que el tripolifosfato influye de forma significativa en la dureza que es un parámetro igualmente importante en un queso análogo tipo manchego, además aporta adhesividad al interaccionar con el citrato de sodio. Se puede observar que el Kasal® afecta el fundido, esto debido a que esta sal está compuesta de una mezcla de fosfato de sodio y fosfato de aluminio que se relacionan con el fundido del queso (Fox y col., 2000).

Paralelamente al análisis de fundido se consumieron los quesos y se observaron visualmente para tener una idea sensorial de cada uno de ellos. Se observó dentro de este análisis sensorial que el kasal® por el fosfato de aluminio que presenta al interaccionar con el fosfato disódico de la misma mezcla y citrato de sodio aporta la formación de hebra en el queso cuando este funde. Esto no era lo deseado para un queso manchego por lo que eliminamos estos tratamientos para la selección del queso manchego.

VI.3.1.2. Análisis de perfil de textura.

En los resultados del análisis de perfil de textura la dureza representa un parámetro importante a estudiar, en el Cuadro 18, se observa que el tripolifosfato de sodio, afecta significativamente ($p= 0.037$) esta respuesta de forma positiva. De igual manera, el fosfato disódico ($p= 0.0219$) afecta significativamente de forma positiva la dureza del queso como puede verse en la Figura 11. La interacción tripolifosfato de sodio-citrato de sodio afecta de manera negativa esta respuesta ($p= -0.0371$) esto puede observarse en la Figura 12.

Como sabemos, dentro del análisis de perfil de textura se simula la fuerza que ejerce la mandíbula al masticar un alimento. El equipo realiza dos compresiones simulando dos mordidas. La cohesividad es la relación de las áreas de fuerza positiva bajo las curvas de la primera y segunda compresión. Es por esto que la medición de la cohesividad se refiere a la resistencia que tiene el producto, en este caso el queso contra la compresión aplicada para su deformación, y su comparación con la segunda mordida. Esto indirectamente de acuerdo con Szczesniak (1975) nos indica la fuerza de los enlaces presentes en el alimento.

En cuanto a la cohesividad que presentan los diferentes tratamientos se puede observar en el Cuadro 19 que todas las sales fundentes estudiadas presentaron efectos significativos para la cohesividad. Se observó que la presencia de tripolifosfato de sodio ($p=0.0015$), fosfato disódico ($p= 0.026$), kasal ($p = 0.0121$), citrato de sodio ($p=0.0042$) así como las interacciones TPFS y FD ($p= 0.0188$) y

TPFS y Kasal, ($p=0.008$) aumentaron la cohesividad en el queso, esto gráficamente se observa en la Figura 13, las interacciones se muestran en la Figura 14.

Para el parámetro de la adhesividad vemos en el Cuadro 20 que el fosfato disódico presentó una influencia negativa en la adhesividad del análogo de queso que afecta significativamente este parámetro ($p=0.0034$). Igualmente la interacción tripolifosfato de sodio*citrato de sodio tiene un efecto significativo ($p= 0.0231$) en la adhesividad, solo que en este caso, el efecto es positivo esto puede observarse más fácilmente en la Figura 15.

De acuerdo a Szczesiniak (1975) un alimento no puede ser gomoso y masticable al mismo tiempo ya que solo puede ser considerado, duro o semiduro. En nuestro caso tenemos que el queso es considerado un alimento duro ya que presenta elasticidad. Se considera que un alimento semiduro, al modificar su forma por una fuerza externa aplicada, no tiende a regresar a su estado original.

Ninguna de las sales fundentes evaluadas afecta significativamente la masticabilidad del producto.

VI.3.1.3. Rendimiento.

En el rendimiento no se observan diferencias significativas debidas al uso de las diferentes sales fundentes.

VI.3.2. Selección del análogo de queso adicionado con mezcla de almidón de maíz-CPS.

De acuerdo al análisis del diseño anterior, se tomó como queso tipo manchego control el tratamiento 13 con su respectiva repetición la mezcla 15.

Para poder definir la cantidad de mezcla de almidón y CPS se aplicó un diseño de mezclas. El diseño de mezclas permite definir varios factores que conforman los ingredientes de una mezcla. En este caso los factores estudiados fueron la cantidad de caseína, grasa, agua y mezcla (almidón-CPS). Estos factores se presume, afectan las variables de respuesta estudiadas. El total de estos cuatro factores

corresponde al 92.31% del producto final. Este porcentaje se distribuyó entre los factores estudiados de acuerdo al diseño de mezclas. Los límites que se establecieron se muestran en el Cuadro 8 y fueron seleccionados de acuerdo a estudios previos de Lobato-Calleros y col. (1999) y Morales (2006). El Cuadro 9 muestra los tratamientos realizados en el diseño de mezclas. Los resultados obtenidos para el diseño se muestran en el Cuadro 21.

VI.4. Análisis de componentes principales (ACP)

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables).

Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí.

Un análisis de componentes principales tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total.

La elección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo factor debe recoger la máxima variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente. Del total de factores se elegirán aquéllos que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente. A éstos se les denominará componentes principales.

En el Cuadro 23, aparecen los valores propios de cada componente principal, y enseguida la proporción de varianza explicada por cada una de ellos y la varianza acumulada. Estas varianzas son de suma importancia ya que nos ayudaran a saber cuántos componentes principales se tomaran para el análisis, en nuestro caso se utilizaron dos componentes debido a que con estos se explica el 84.77% de la variabilidad dentro del modelo.

Estos dos componentes principales se muestran en el Cuadro 22, la primera columna correspondiente al primer componente se refiere al área obtenida en las gráficas de estrellas, Figura 16 donde se maximizan todas las respuestas estudiadas en el diseño. Este componente como se puede ver en su valor propio

abarca la mayor parte de la variabilidad del modelo. La segunda columna representa la respuesta de fundido, este se tomo como segundo componente ya que esta respuesta fue fundamental en la discriminación de los diferentes tratamientos, ya que gran parte de la variabilidad dentro de los diferentes tratamientos se puede observar en el fundido como respuesta. De hecho este parámetro arrojo la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos debido a los diferentes factores estudiados y la interacción entre ellos.

En el Cuadro 22 se puede ver que como es de esperarse el área de las graficas de estrella, muestra una correlación positiva con todas las respuestas estudiadas. Esto se ve en el signo positivo que presentan los resultados. También se puede observar que existe una alta correlación positiva entre el fundido y la adherencia, además de la dureza y la masticabilidad. El caso contrario se puede observar en la correlación negativa que existe entre el fundido y la elasticidad, el rendimiento y la cohesividad.

La gráfica de componentes principales nos muestra más claramente que tratamiento arrojó los mejores resultados, de manera que podamos tomar estos para las pruebas sensoriales en la Figura 17 se observa que los valores del primer cuadrante corresponden a los mejores resultados. Las mezclas que presentaron mejores resultados o son los tratamientos 1 y 2.

Se analizó cada respuesta por separado para tener una idea más clara de los resultados del diseño para poder seleccionar los tratamientos que se tomaran como los más adecuados para la formulación de un análogo de queso manchego.

VI.4.1. Rendimiento

Analizando la respuesta del rendimiento se puede apreciar en el Cuadro 24 que no existe una diferencia significativa con respecto a los diferentes factores estudiados. Esto puede deberse a la alta variabilidad en los resultados que puede observarse en la Figura 18. Esta variabilidad puede atribuirse al método de fabricación que se siguió en la manufactura del queso, donde a pesar de que se cuidaron tiempos y temperaturas durante el proceso, el mezclado fue manual.

A pesar de esta variabilidad se puede apreciar en las Figuras 19 y 20 que tanto la caseína como el agua afectan el rendimiento obtenido. La caseína afecta de manera positiva el rendimiento, mientras que, la cantidad de agua afecta de manera negativa el rendimiento. El hecho de que la caseína genere un mayor rendimiento puede deberse a que la red que se forma, es más estable y por tanto puede retenerse una mayor cantidad de agua y con esto aumentar el rendimiento.

El hecho de que se hayan obtenido bajos rendimientos cuando la cantidad de agua era mayor, puede deberse al hecho de que el agua presenta un punto de ebullición bajo y al estar en gran cantidad, parte de esta se evaporaba, esta cantidad de agua evaporada, es la que no estuvo contenida en la red de caseína y grasa formada dentro del queso.

VI.4.2. Fundido

Con relación a la medición de la respuesta de fundido, en el Cuadro 25, encontramos que la presencia de caseína en el queso ejerce un efecto positivo altamente significativo en el fundido del queso ($p=0.004$), es tan grande este efecto que la interacción de la caseína*agua ($p=0.0026$) y caseína*grasa ($p=0.0179$) muestran igualmente un efecto significativo.

Las interacciones significativas en este tipo de modelos para diseños en mezclas se interpretan como la desviación de la planaridad en la respuesta (en este caso del fundido). En la Figura 21 se aprecia, un antagonismo en la combinación de caseína y agua, por tanto el signo negativo del coeficiente estimado respectivo (-840) corresponde a la curvatura por debajo del plano. Esto nos indica que el cambio en fundido a partir de cambios de caseína en niveles bajos de agua será mayor que cuando el agua es mayor. Con agua alta se parte de un fundido mayor.

En la Figura 22 se muestra la interacción caseína*grasa que tiene igualmente un efecto significativo, antagonista (-729) con respecto al fundido. El cambio en fundido debido al cambio en caseína es más pronunciado con grasas altas, aunque con grasas bajas el fundido es mayor en caseína baja. En contraste, el fundido debido al cambio en cantidad de caseína presente en la formulación es más

pronunciado con concentración alta de grasa, sin embargo, con concentraciones bajas de grasa, el fundido es mayor aún a concentraciones bajas de caseína.

La grasa, por si sola, como se puede ver en la gráfica que aparece en la Figura 22, no afecta el fundido haciendo que esta respuesta se mantenga casi constante, pero existe una interacción de esta con la caseína, donde a medida que aumenta esta última, aumenta la respuesta de fundido.

Si tomamos en cuenta el fundido del queso control, encontramos que el promedio obtenido de fundido es de 6.4 cm. La cantidad de grasa no arroja diferencias significativas en las formulaciones estudiadas que afecten el fundido. Se puede concluir que el nivel máximo sustituido de grasa por la mezcla de almidón-CPS tomado en este modelo puede representar la cantidad máxima a sustituir de grasa sin con esto presentar alguna diferencia en el fundido del queso. Es decir puede ser sustituible hasta un 31.8 % de grasa de la formulación total.

VI.4.3. Análisis de perfil de textura.

Como se aprecia en el Cuadro 26 sólo se ve ligera evidencia del efecto de la caseína sobre la dureza. Sin embargo a nivel descriptivo al graficar los datos es evidente que hay un efecto importante de tanto la caseína como la grasa sobre la dureza del queso. Esto se observa en las Figuras 23 y 24.

Por otra parte el dato 1, con un porcentaje de mezcla bajo (0.04), muestra una dureza fuera de lo esperado considerando los datos obtenidos para combinaciones con porcentajes bajos de mezclas de almidon-CPS. Al omitirlo del análisis se obtienen los datos mostrados en el Cuadro 27.

Al analizar estos resultados, se siguen los patrones del Cuadro 26 solo que, se intensifican los resultados, de este modo se puede apreciar que la cantidad de caseína da diferencias significativas entre los tratamientos, así mismo, la interacción, caseína*agua, casina*mezcla, resultan significativas en la respuesta de dureza.

Existe significancia en los efectos de caseína, caseína*agua, y agua*mezcla. Caseína*agua es antagonista (-238160.8) a un comportamiento planar como se muestra en la Figura 25.

Con porcentajes de agua bajo la dureza es mayor que cuando hay mayor cantidad de agua, no obstante al aumentar la caseína el cambio en dureza es más acelerado en tratamientos con porcentajes bajos de agua. También se aprecia una interacción significativa mezcla*agua mostrada en la Figura 26, donde se puede apreciar que al aumentar el porcentaje de agua la dureza baja esto resulta más evidente cuando se tienen porcentajes de mezcla de almidón-CPS altos.

La reducción del contenido graso de los análogos y la incorporación de mayores cantidades de agua, se asocian con productos blandos, poco elásticos. Los suplementos de grasa elaborados a base de proteínas de suero o bien de algún tipo de pectina actúan como agentes ligantes de agua, coadyuvando a la retención de este compuesto en el interior de la matriz proteínica del análogo, y de esta forma el efecto suavizante del agua reemplaza el que ejerce originalmente la grasa. Las proteínas del suero lácteo de productos sustitutos de grasa son tratadas térmicamente, de tal forma que su gelación es limitada, razón por la que probablemente el agua en el producto se encuentra de manera más libre. Si esta está presente en una proporción mayor de 73.4% se producen análogos demasiado suaves (Lobato-Calleros y col., 1999).

Aumentos en la cantidad de agua del análogo pueden provocar una mayor separación entre las cadenas de proteína, dando lugar así a una red más abierta, cuyos enlaces se reforman con mayor dificultad; sin embargo, la adición de algún tipo de pectina o almidón puede reforzar la estructura a través de la formación de partículas de geles, que tienen como efecto el de incrementar la velocidad a la que se reforman los enlaces de la estructura reticular del análogo de queso. Una cantidad elevada de pectina en presencia de poca agua disponible, puede producir una disminución en la relación agua libre/agua ligada, restando fluidez a la fase acuosa del producto (Lobato-Calleros y col., 1999).

En cuanto a la elasticidad como se ve en el Cuadro 28 existen diferencias significativas debido a la interacción de la caseína con el agua y con las mezclas. Las interacciones de caseína*agua y caseína*grasa se muestran sinérgicas respecto al comportamiento planar.

Se aprecia que al incrementar caseína la elasticidad crece, pero que con caseínas altas (en especial con % de agua alto) comienza a decrecer la elasticidad. De la interacción caseína*grasa se tiene un comportamiento similar al anterior se observa en la Figura 27.

VI.5. Análisis sensorial

Según los resultados obtenidos del diseño de mezclas se tomaron 5 tratamientos. Estos se escogieron en base a las gráficas de estrella, es decir que tuvieran más altos los factores estudiados. Se tomó en cuenta que se buscaban además tratamientos donde existiera una sustitución de grasa, una sustitución de proteína, una sustitución de ambos elementos. Los tratamientos elegidos se muestran en el Cuadro 29.

Se realizaron tablas de contingencia de los resultados demográficos de la encuesta que se aplicó a los 100 consumidores, los resultados se muestran en el Cuadro 30. No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes grupos de edades según la prueba de Pearson más que para la cantidad de queso que se consume mensualmente. Las Probabilidades se muestran en el Cuadro 33. El 77% de los encuestados, consumen queso más de 4 veces al mes. En México el consumo de queso es importante. Se aprecia también que para el 80 % de los encuestados el sabor influye en su preferencia. Por lo que es este factor el que los productores tienen que mejorar y vender. En las probabilidades de la prueba de Pearson no se aprecia una diferencia significativa pero dado el porcentaje de consumidores que tomaron este atributo como importante, es necesario tomarlo en cuenta. De las demás diferentes respuestas de los consumidores no se encontraron diferencias significativas según la prueba de Pearson. Este hecho nos demuestra que el mercado consumidor de quesos es muy amplio. El queso es consumido por todo

tipo de personas, sin importar edad, sexo, estrato social. De igual forma podemos decir que la preferencia por algún tipo de queso y la forma de consumo es muy variada y esta diversidad se conserva a través de los años. En el Cuadro 31 se muestra una tabla de contingencia según la forma de consumo de los encuestados. Como se puede observar, el queso más consumido es el fresco y la forma en que más se consume el manchego es en quesadillas. En el Cuadro 33 se observa que no hay diferencias significativas según la forma de consumo del queso manchego. Lo que coincide con lo que se encontró anteriormente. El mercado consumidor de quesos es tan amplio que la forma de consumo es muy diversa. Lo que a su vez representa una gran oportunidad para los productores de ser creativos. Sin olvidar en ningún momento el sabor del producto. En el Cuadro 32 se hizo una tabla de contingencia entre los resultados de preferencia según el mapa de preferencia y los datos obtenidos por el cuestionario. Según el Cuadro 33 la prueba de Pearson no arroja diferencias significativas. Esto nos dice que la preferencia por las diferentes muestras no está influenciada por edad, sexo o forma de consumo. El producto tendría que estar enfocado a todo tipo de personas si se pretendiera comercializar.

En la Figura 28 se observa que dentro de los consumidores encuestados el gusto por el queso fresco es evidente seguido del procesado. En la Figura 29 se muestra que la forma de consumo del queso manchego es en quesadillas. En la Figura 30 se puede apreciar que lo que más influye en el consumidor es el sabor del queso. El análisis sensorial se hizo a consumidores, puesto que son ellos los que van a las tiendas y adquieren los diferentes productos. Se buscó que el grupo fuera heterogéneo puesto que el queso es consumido por un mercado muy amplio. En la escala hedónica se buscó usar términos sencillos que fueran parte del lenguaje de personas mexicanas acostumbradas a esos términos.

En base a los resultados del cuestionario se puede decir que una forma alterna de evaluar el producto sería en una quesadilla que es la forma en la que más se consume el queso manchego. El sabor es algo que se debe cuidar mucho puesto que es lo que más afecta la preferencia de los consumidores, y si este atributo no es agradable para ellos, esta percepción afecta los demás atributos. En un estudio

posterior, se podría pensar en tener un grupo de consumidores mas específico que guste de quesos madurados, intensificando el sabor.

En la evaluación sensorial de los tratamientos escogidos se tomaron 4 atributos a calificar, producto en general, sabor, textura y cremosidad. En la Figura 31 se puede observar que los datos obtenidos en general muestran un comportamiento normal. Esto es importante señalarlo puesto que si se realiza una media, y los datos presentan una distribución bimodal, el promedio obtenido podría no representar exactamente la preferencia media de los consumidores. Se realizó un análisis de varianza para cada atributo buscando diferencias significativas entre los tratamientos. Los cuatro atributos presentan diferencias significativas entre tratamientos. Para esclarecer esta diferencia significativa se evaluaron las medias con el método Tukey-Kramer. En la Figura 32 se observa que para el atributo de producto en general el tratamiento con la calificación más alta fue el tratamiento 10 que corresponde a una sustitución de grasa, 9.1 % menos de grasa total. Como se puede ver en la Figura 32 los tratamientos que contienen la mezcla de almidón-CPS no muestran diferencia significativa entre ellos, y están por encima del control con el cual si se existe una diferencia significativa. Esto nos indica que el análogo de queso manchego que proponemos en general tiene mayor preferencia que el control que corresponde a un queso análogo tipo manchego comercial. A pesar de que los tratamientos fueron más preferidos que el control, los promedios de las calificaciones obtenidas son bajos, están entre 3 y 5. Estos valores corresponden a me disgusta un poco y me gusta poquito respectivamente. Esto muestra evidencia de que se requiere mejorar el producto sensorialmente para que el consumidor lo acepte. Se trabajó con un sabor natural enzimático que ayudó a mejorar el sabor, sin embargo podría extenderse el estudio en este aspecto. Puesto que tanto la dosis como el saborizante en sí, fue el mismo en todos los tratamientos. En los resultados de la encuesta se muestra que el sabor es el factor que más afecta en la preferencia del 80 % de los consumidores encuestados.

Se realizó un mapa de preferencias del producto en general, este nos sirve para saber el número de consumidores que prefirieron cada uno de los tratamientos evaluados en el análisis sensorial. En la Figura 37, correspondiente al mapeo de

preferencia del producto en general, éste nos permite generar un mapa de los productos sobre el cual se puede identificar las preferencias de consumidores o grupos de consumidores representados en forma de vectores. En el mapeo de preferencias, se muestra que el objeto 2 y el objeto 4 son los que mayor número de consumidores prefirieron. Estos objetos corresponden a los tratamientos 4 y 11 respectivamente, como se puede ver en el Cuadro 34. En este caso se muestra una preferencia diferente a la que muestra el estudio de las medias puesto que se trata de un análisis multivariado. Se tomaron 4 dimensiones para este mapa de preferencias con lo cual se explica el 69% de la variación. Los tratamientos 10, 4 y 11 son los que muestran las medias más altas además de que los tratamientos 4 y 11 fueron los que más consumidores prefirieron. Con esto se concluye que los tratamientos 10, 4 y 11 son los que obtuvieron mejores resultados en el atributo de producto en general.

En la Figura 33 se observan los resultados del atributo de sabor, igualmente el tratamiento 10 es el que tiene el mayor promedio. Se encuentra diferencia significativa únicamente con el control. En cuanto al atributo de textura, se puede observar en la Figura 34 que la diferencia significativa se da con el control y sigue siendo el tratamiento 10 el que presenta la media más alta. En el atributo de cremosidad, los resultados se muestran en la Figura 35 donde se observa que el tratamiento 11 es el que presenta una media mayor, este corresponde a la sustitución de proteína, 31.4% del total de proteína. En este atributo si existió diferencia significativa entre los tratamientos con contenido de mezcla almidón-CPS. El tratamiento 2 fue el que obtuvo en este caso la media más baja. Es importante señalar que el tratamiento 2 en los tres atributos mencionados anteriormente fue el que obtuvo los promedios más bajos. El tratamiento 2 corresponde a una sustitución de grasa en la mayor proporción de 31.8%. Con esto podemos concluir que así como el factor caseína es el que más influye en fundido y textura medida por un instrumento, la grasa afecta la preferencia del consumidor. Por lo que antes de lanzar al mercado algún producto bajo en grasa es necesario hacer un análisis de aceptación previo. En este caso los tratamientos más aceptados fueron el 4, 11 y 10 que tienen una sustitución de grasa de 18.22%,

31.4%, 9.1% respectivamente. El tratamiento 2 con una sustitución de 31.8% ya no fue aceptado por los consumidores. Los porcentajes de sustitución de grasa de los tratamientos 11 y 2 están muy cercanos. Sin embargo, en el tratamiento 11 existió una sustitución del 31.4 % de caseína lo que ayudó a obtener un queso menos duro. Desde el punto de vista económico este tratamiento es el mejor ya que es aceptado por los consumidores y contiene menor cantidad de proteína y grasa.

La Figura 36 nos muestra los tres valores de la escala hedónica más altos obtenidos por cada tratamiento. Podemos observar que son pocas las calificaciones obtenidas con el valor más alto de Me gusta mucho para todos los tratamientos. 7 consumidores gustaron mucho de los tratamientos 4 y 10. Mientras que el control no recibió ninguna calificación de Me gusta mucho. La mayor cantidad de consumidores que calificaron la muestra como Me gusta fue el tratamiento 10. Fueron 22 los consumidores que gustaron del tratamiento 10.

VIII. CONCLUSIÓN

La información existente sobre el tema de los quesos análogos es muy escasa. Además de que la existente no es muy conocida puesto que las empresas que emplean este tipo de procesos para aumentar su rendimiento tienen sus formulaciones y procesos internos que no comparten fácilmente. Básicamente todo ha venido del método empírico sin realmente entender la base científica que lo fundamenta. Este estudio se puede dividir en dos partes, por un lado el efecto de factores poco estudiados como son el tipo de tornillo y tamaño de dado en el estudio del almidón y su interacción con el concentrado de proteína de suero pasados por extrusión y por otro lado la formulación de un análogo de queso usando la mezcla antes mencionada.

Dentro del método de extrusión existen muchos factores que afectan el producto final. Los más estudiados son la temperatura de salida, humedad, pH, velocidad de tornillo, entre otros, puesto que son los que tienen un mayor efecto en el producto. En este trabajo sin embargo se estudiaron el dado que da formato al extrudido y el tipo de tornillo que afecta la compresión de la mezcla. En general no hay diferencia significativa entre el tipo de dado utilizado. En cuanto la compresión dada por los dos tipos de tornillos sucede lo mismo. En el estudio se hizo una comparación entre el tornillo 1:1 y 2:1 que son compresiones bajas debido al tornillo. Esto se debe a que se buscaba que no existiera una degradación muy severa de los componentes de la mezcla para que pudieran ser utilizados en la formulación del queso análogo. Se escogió el tratamiento 115, en el que se utilizó el tornillo 1:1 y dado de 5 mm, esto debido a que fue el tratamiento donde existe menor compresión y por tanto menor trabajo para el motor del extrusor. Viendo todo desde un punto de vista práctico, este es el mejor tratamiento.

Para poder estudiar el efecto de la mezcla en la formulación de un análogo de queso manchego fue necesario tener un queso control, para ello se aplicó un modelo experimental para escoger la concentración de sales fundentes adecuada para el tipo de queso que se buscaba formular. Analizando estos resultados se

observa que la respuesta de fundido y dureza fueron los parámetros que determinaron el tratamiento que se escogió.

El tratamiento que presentó mejores características para el desarrollo de un queso análogo tipo manchego control fue el tratamiento 13 y 15 que corresponde a 14.28% de tripolifosfato de sodio, 35.71% de fosfato disódico, 14.28% de Kasal® y 35.71% de Citrato de sodio la suma de estos porcentajes corresponden a un 2.1% de la formulación final del queso.

Se realizó un diseño de mezclas para obtener la formulación más adecuada para un análogo de queso manchego, buscando que la mezcla de almidón de maíz y concentrado de proteína de queso sustituyera parcialmente a una fracción de proteína o de grasa en el queso. Nuevamente la respuesta de fundido, fue fundamental para la evaluación de los tratamientos. Además del área dentro de las estrellas que de cierta forma abarcan todos los resultados estudiados. De acuerdo a este criterio se observó que la mezcla sustituye la grasa presente en los quesos sin con esto aportar diferencias significativas en las respuestas estudiadas. Con esto se comprobó que la grasa puede ser sustituible hasta un 31.8 %. Con esta sustitución sin embargo se muestran diferencias significativas en la preferencia de los consumidores. Los tratamientos que más aceptación tuvieron por parte de los consumidores fueron el 4, 10 y 11. Los dos primeros corresponden a una sustitución de grasa de 18.22% y 9.1% respectivamente. El tratamiento 11 corresponde a una sustitución del 31.4% de caseína total. Sin embargo, a pesar de que las medias de los tratamientos estudiados están por encima del queso comercial, los valores obtenidos son relativamente bajos. Las medias se encuentran en el intervalo de no gusta ni disgusta y gusta poquito. Por tal motivo es importante seguir con estudios para mejorar el sabor que resultó el factor que determina la preferencia del 80% de los consumidores encuestados.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. 1999.** Methods of the AACC. 9a ed. American Association of Cereal Chemists. Academic Press Inc. St Paul Minnesota .
- Bachmann, H.P. 2001.** Cheese analogues: a review. International Dairy Journal.: Vol. 11: 505–515
- Basurto, G. 2007.** Formulación y elaboración de quesos análogos o extendidos como una alternativa a las exigencias del mercado actual. Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Manual de Prácticas para obtener el título de Químico en Alimentos. 24-27.
- Bello, L.A. y Tovar, J. 2001.** Actualización en química y nutrición del almidón. Yautepec. Mor. Instituto Politécnico Nacional. Memorias del curso para el centro de desarrollo de productos bióticos. 1-15, 35-40.
- Biliaderis, C.G. 1991.** The structure and interactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology.: Vol.69: 60-78.
- Camire, M.E., Camire, A., Krumhar, K.1990.** Chemical and nutritional changes in food during extrusion. Food Science and Nutrition.: Vol. 19:35-57.
- Cornell, J., 2002.** Experiments with Mixtures: designs, models, and the analysis of mixture data. 3rd edition., Wiley
- deMan, J. M., 1999.** Principles of Food Chemistry. 3a. ed., Aspen Publishers, Gaithersburg, Md:183-208.
- Faubion, J.M., Hosney, R.C. 1982.** High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. Cereal Chemistry.: Vol. 59: 529-533.
- Fernandez, J.M., 2005.** www.ual.es/~jfernand/ATA/Tema3/Tema3-EstructuraFuncionProteinas.pdf.
- Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. 2000.** Fundamentals of Cheese Science. Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, Maryland.: 31-39 y 429-443.
- Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., 1998.** Dairy Chemistry and Biochemistry. 1a. ed., Blackie Academic & Professional Department of Food Chemistry University College Cork, Ireland: 188-195.

- Gonzalez, A.A., 2004.** http://www.infopesca.org/articulos/20_La%20aplicacion_de_fosfatos_en_el_pescado.pdf
- Guy, R. 2001.** Extrusion cooking technologies and applications. 1a Edition., CRP Press, Washington:29-49.
- Kent, N.L., Evers, A.D. 1994.** Technology of cereals an introduction for students of food science and agriculture. 4a. ed., Pergamon, New York: 53-77.
- Kim, C.H., Maga, J.A. 1987.** Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *Lebensm-Wiss u-Tecnol.*:Vol.: 20: 311-318.
- Kokini, J.L., Moraru, C.I. 2003.** Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety.*: Vol. 2:120-131.
- Kossmann, J., Lloyd, J. 2000** Understanding and influencing starch biochemistry. *Critical Reviews in Plant Sciences.*: Vol. 19(3):171–226.
- Lobato-Calleros, C. Aguirre-Maldujano, E., Vernon-Carter, E.J. 1999.** Propiedades reológicas de análogos de queso:Efectos de sustituto de grasa, grasa y humedad.: Vol.2(3):119-124.
- Luallen, T.E. 1988.** Structure, characteristics, and uses of some typical carbohydrate food ingredients. *Cereal Foods World.*: Vol. 33: 924-927.
- MacAllister, R.V. 1979.** Nutritive sweeteners made from starch. In *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry.* Academic Press, Inc., New York:15-56..
- Maria, L.F. y Wenzel M.E.2006.** Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos. Editora da Universidad de São Paulo, Brasil:15-47.
- Martinez, F., Zilli, O., Verdalet, I. 2006.** V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Jalisco, México, 4,9:4.
- Morales, N. 2006.** Caracterización funcional de mezclas de almidón de maíz-proteínas de suero de leche obtenidas por la tecnología de extrusión en el desarrollo de un análogo de queso. Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 47-60.

- Mounsey** J. S., O'Riordan E.D. **1999**. Empirical and dynamic rheological data correlation to characterize melt characteristics of imitation cheese. *Journal of Food Science.*: Vol. 66: 586-591.
- Ortiz**, G. **2005**. Simposium Internacional de Ingeniería en Industrias Alimentarias Evolución 2005. Querétaro, México. 20-22,10.:6-8.
- Pedrero**, D.L. y Pangborn R.M. **1997**. Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos Análíticos. Alhambra Mexicana, México:117-121.
- Szczesniak**, A.S., Loew, B.J., Skinner, E.Z. **1975**. Costumer texture profile technique. *Journal of Food Science.*: Vol. 40 :1253-1268.
- Valencia**, J. **2005**. http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MLC005_quesoanalogoWSF.pdf
- Walzem**, R. L., Dillard, C. J., German, J. B. **2002**. Whey components: Millennia of evolution create functionalities for mammalian nutrition: What we know and what we may be overlooking. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.*: Vol. 42(4):353–375.
- Young** N.D., Drake M., Lopetcharat K., McDaniel M.R. **2004**. Preference Mapping of Cheddar Cheese with Varying Maturity Levels. *Journal of Dairy Science.*:Vol. 87:11-19.
- Zazueta**, .J.J. **2003**. Extrusión de maíz (*Zea mays L.*) azul: efecto del hidróxido de calcio sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales. Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el título de Doctorado en Ciencias de los Alimentos. 18-21.
- Zobel**, H.F. **1988**. Molecules to granules: a comprehensive starch review. *Starch/Stärke.*: Vol. 40: 44-50.

ANEXO 1.

Cuestionario para la evaluación sensorial a consumidores.

Estimado participante la información que usted nos proporcione acerca del nivel de agrado del siguiente producto nos ayudará en la optimización tecnológica del mismo. Le agradecemos de antemano su cooperación.

Marque con una cruz

Sexo F M

Edad 18 19-25 26-35 36-45 46-55 56-80

Profesión _____

Colonia donde vive _____

¿Cuál es la frecuencia de consumo de queso en su casa?

Nunca Una vez al mes 2-4 veces al mes más de 4 veces al mes

¿En qué cantidad?

100 gramos 500 gramos 1 kilogramo otro _____

¿Quién compra el queso en su casa?

Esposo Esposa Hijo otro _____

¿Qué tipo de queso consume?

- Queso procesado Queso fresco Queso madurado

¿De qué forma consume el queso manchego?

- Quesadillas Solo En platillos Para gratinar

¿Cuál es el factor que más influye en su preferencia?

- Precio Sabor Textura Salud Disponibilidad

¿Sabe que es un queso análogo?

- Si No

¿Ha consumido alguna de estas marcas?

- Gallo Negro La Villita La mariposa

Comentarios _____

Según la siguiente escala, evalúe los quesos que se le presentan en el orden indicado. Marque con una cruz el número que corresponda a su percepción.

No me gusta para nada	No me gusta	Me disgusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta poquito	Me gusta	Me gusta mucho
-----------------------	-------------	---------------------	----------------------------	------------------	----------	----------------

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Muestra _____

Atributos del queso a evaluar

Producto en general

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Sabor

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Textura

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Cremosidad

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---