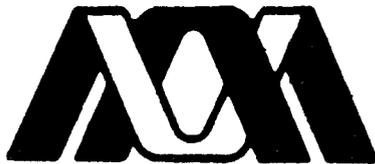


UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

CBS



Casa abierta al tiempo

**EFFECTOS DE DISTINTOS TIPOS DE GRASAS Y SUSTITUTOS
DE GRASA SOBRE LA MICROESTRUCTURA Y LAS
CARACTERISTICAS TEXTURALES INSTRUMENTALES Y
SENSORIALES DE ANALOGOS DE QUESO.**



**COORDINACION DE SERVICIOS
DOCUMENTALES - BIBLIOTECA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A :

CONSUELO SILVIA OLIVIA LOBATO CALLEROS

DICIEMBRE DE 1998.

225701

“El Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma Metropolitana está incluido en el Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACyT y además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el convenio número PFP-200-93”

El jurado designado por las Divisiones de Ciencias Biológicas y de la Salud de las Unidades Iztapalapa y Xochimilco aprobó la tesis que presentó

CONSUELO SILVIA OLIVIA LOBATO CALLEROS

El día 4 de diciembre de 1998

Comité Tutorial:

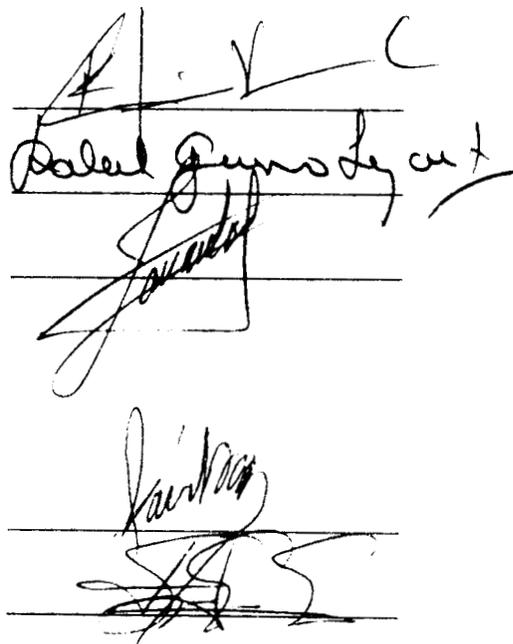
Tutor: Dr. E. Jaime Vernon Carter

Asesor: Dra. Isabel Guerrero Legarreta

Asesor: Dr. Jorge Soriano Santos

Sinodal: Dr. Jesús Sánchez García

Sinodal: Dr. Hugo Sergio García Galindo



The image shows four handwritten signatures on a background of horizontal lines. The first signature is at the top, followed by a signature that appears to read 'Isabel Guerrero Legarreta'. Below that is another signature, and at the bottom is a signature that appears to read 'Hugo Sergio García Galindo'.

Este trabajo lo realicé siempre pensando en mis hijos Alfonso, Alejandro y Juan Carlos, mis padres Anatolio y Consuelo, y todas aquellas personas cercanas a mí que tanto quiero y que me apoyaron con su paciencia, su comprensión y su interés.

RECONOCIMIENTOS

Mi agradecimiento más sincero:

Al Dr. Jaime Vernon Carter por la valiosa dirección de este proyecto y el impulso y amistad que siempre me proporcionó.

A la Dra. Isabel Guerrero Legarreta y al Dr. Jorge Soriano Santos, por su asesoría y apoyo a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Jesús Sánchez García por dirigir y supervisar pacientemente la parte estadística de este trabajo.

Al maestro Adalberto González Deben por su asesoría en las tareas relacionadas con el análisis de datos.

Al M.C. Eleazar Aguirre Mandujano por todo el apoyo que me otorgó para la culminación de este proyecto.

A la Biol. Yolanda Homelas de Uribe por su tiempo y sus conocimientos brindados en el análisis de microestructura.

A las personas de Química Hércules, Iván, Soren, Beti y Magda, por su ayuda en la elaboración de las formulaciones de análogos de queso.

Al Dr. Hugo Sergio García Galindo por la revisión de este documento y sugerencias para mejorarlo.

A Sylvia y Laura Olivia Calleros y Calleros por depositar su confianza en mí.

A María Margarita, María Odette y Brisa Verónica Lobato Calleros, y personitas aledañas, por su cariño.

A la Universidad Autónoma Metropolitana por darme la oportunidad de formar parte de su programa de Doctorado.

Al CONACyT por la beca que me permitió la realización de estos estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo por el tiempo que me otorgó para el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

A pesar de que existen en el mercado una gran variedad de productos que contienen diferentes tipos de grasas y/o sustitutos de grasa, el uso de estas sustancias ha sido empírico, sin el conocimiento de cómo afectan las propiedades estructurales de los alimentos y la relación de estas últimas con sus características texturales. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de diferentes tipos de grasas y sustitutos de grasa, sobre las características texturales instrumentales de un prototipo de análogo de queso, en función de interacciones moleculares entre sus componentes, que definen su estructura interna y atributos sensoriales de textura.

Se prepararon análogos de queso cuya fracción grasa estuvo constituida por grasa butírica, aceite de soya, grasa de soya o una combinación de éstos, de acuerdo a un diseño experimental de mezclas de tres componentes. Posteriormente la fracción grasa, formada por una mezcla de grasa de soya-aceite de soya (0.5-0.5), se redujo mediante el uso de Dairy-lo, Simplese o Slendid como sustitutos de grasa y la incorporación de mayores cantidades de agua, en concordancia con un diseño de mezclas de límites restringidos. Las características texturales de las formulaciones resultantes se determinaron por análisis instrumental de Perfil de Textura y por evaluación sensorial de un panel de jueces entrenados. Para el estudio del arreglo interno de los análogos de queso se empleó un microscopio electrónico de barrido.

El tipo de grasa usado en la formulación de los análogos de queso afectó sus características texturales instrumentales y sensoriales, a través de la formación de distintos arreglos estructurales en los productos. La grasa de soya formó agregados interconectados por proteína, y proporcionó firmeza y dureza a los análogos, pero decreció su cohesividad, elasticidad y cremosidad. El efecto contrario se observó en el análogo preparado con aceite de soya, caracterizado por una matriz de proteína interrumpida mediante la dispersión de numerosas partículas de grasa pequeñas. Las partículas de grasa butírica, esféricas, perfectamente cubiertas por proteína y de tamaño intermedio a las constituidas por grasa de soya y aceite de soya, confirieron firmeza, dureza y elasticidad moderadas a los análogos de queso, y cohesividad y cremosidad elevadas. Las combinaciones de grasas exhibieron gran variabilidad en el tamaño de sus partículas, tendiendo a presentar una distribución acorde a las proporciones incorporadas de cada una de ellas y a los tamaños de partícula mostrados cuando se usaron individualmente. El efecto global de la combinación de grasas es la reducción del predominio estructural de los componentes puros, tendiendo a presentar aquél correspondiente a la mezcla. Así, la grasa butírica que proporcionó valores intermedios a la mayoría de las características texturales de los análogos de queso, en comparación con los conferidos por la grasa de soya y aceite de soya, puede ser reemplazada por una mezcla de grasa de soya-aceite de soya 0.5-0.5 o por aquella en la cual los tres tipos de grasas se encuentren en proporciones iguales (0.3-0.3-0.3).

Los análogos de queso elaborados con Slendid, presentaron partículas de grasa de tamaño y distribución parecidos a los de las partículas grasas del análogo formulado con aceite de soya; sin embargo, en el caso del producto con Slendid, la resistencia a la deformación de

su matriz de proteína discontinua, se incrementa a través de su interacción con la estructura polihédrica del gel formado por el componente péctico presente, el cual enlaza grandes cantidades de agua. El efecto global es que el análogo con Slendid exhibe características texturales de valores cercanos a los mostrados por el análogo con fracción grasa completa constituida por 0.5-0.5 de grasa de soya-aceite de soya.

El análogo formulado con Dairy-lo, tuvo partículas de grasa más grandes, de tamaño y de distribución más uniformes, las cuales además se encontraron perfectamente cubiertas por una matriz de proteína continua, interrumpida por canales de agua. Este análogo presentó valores más bajos en las características texturales de dureza y firmeza que el análogo conteniendo Slendid.

El sustituto de grasa Slendid fue capaz de sustituir mayor proporción de grasa y retener más agua que el sustituto Dairy-lo.

Finalmente, el sustituto de grasa Simplese no proporcionó las características texturales esperadas de su uso, de tal forma que se descartó para la última fase de este estudio.

ABSTRACT

Although a great variety products incorporating different fat types and/or fat substitutes are marketed, the use of these substances has been empirical, without a knowledge as to how they affect the structural properties of foodstuffs, and of their relationship with their textural characteristics. Thus, the objective in this study was to determine the effect of different fat types and substitutes, upon the instrumental textural characteristics of a cheese analog prototype, in function of the molecular interactions among its components, which define its internal structure and sensory textural attributes.

Cheese analogs were prepared with a fat fraction made up of butterfat, soybean oil or soybean fat or a blend of them, in accordance to a mixture experimental design of three components. Afterwards, the fat fraction formed by a blend of soybean fat-soybean oil (0.5-0.5), was reduced by using Dairy-lo, Simplese or Slendid as fat substitutes, adding larger amounts of water, based on restricted boundary mixture experimental design. The textural characteristics of the resulting formulations, were determined with a Texture Profile instrumental analysis and by a sensory panel of trained judges. For the internal arrangement study of the cheese analogs a scanning electron microscope was employed.

The fat type used in the cheese analogs formulation affected its instrumental and sensory characteristics, through the formation of diverse structural arrangements in the products. Soybean fat formed aggregates interconnected by protein, and yielded firmness and

hardness to the cheese analogs, but decreased their cohesiveness, elasticity and creaminess. An opposite effect was observed with the soybean oil cheese analog, which was characterized by an interrupted protein matrix with small interdispersed fat globules. The butterfat droplets were spherical and perfectly wrapped by protein, having an intermediate particle size between soybean fat and soybean oil, exhibiting moderate values in firmness, hardness, and elasticity, and high values in cohesiveness and creaminess. Fat blends exhibited a great variability in fat droplet size, tending to have a distribution in accordance to the ratios and droplet sizes shown by the pure components on their own. The overall effect is that fat blending reduces the structural predominance of the pure components tending to have that of the mixture. Thus, butterfat cheese analogs which had an intermediate values of the most of the textural characteristics to those of soybean fat and soybean oil, can be best replaced by a blend of 0.5-0.5 soybean fat-soybean oil or that in which the three fats are in equal proportions (0.3-0.3-0.3).

The cheese analogs elaborated with Splendid presented a fat droplet size and distribution such as that of the soybean oil cheese analog, but the disrupted protein matrix is enhanced on its resistance to deformation through its interaction with the polyhedral gel-like structure of the pectic component, which binds large amounts of water. The overall effect is that the Splendid cheese analog has similar textural characteristic values as the full 0.5-0.5 soybean fat-soybean oil cheese analog.

With regards to the cheese analog with Dairy-lo, it had a larger, more uniform droplet size distribution, with the fat globules perfectly wrapped by a continuous protein matrix.

intermeshed with water channels. This analog had lower values in the textural characteristics of hardness and firmness, than the Slendid analog.

The Slendid substitute was able to replace to a larger degree the fat and to hold more water than the Dairy-lo substitute.

Finally, Simplese substitute did not meet the textural characteristics expected from its use, so that it was discarded in the last phase of this study.

ÍNDICE GENERAL

	página
ÍNDICE DE TABLAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
2.1 Volúmenes de producción de leche y queso en México.....	2
2.2 Razones que han motivado el desarrollo de quesos reducidos en grasa.....	4
2.3 Análogos de queso.....	6
2.3.1 Fracción proteínica.....	8
2.3.2 Fracción grasa.....	9
2.3.3 Sales emulsificantes.....	10
2.3.4 Acidulantes.....	11
2.3.5 Otros componentes.....	12
2.4 Influencia de la grasa sobre la microestructura y textura del queso y análogos.....	12
2.5 Funcionalidad de los sustitutos de grasa en queso.....	22
2.5.1 Proteína microparticulada (PMP).....	24
2.5.2 Concentrados de proteína de lactosuero.....	26
2.5.3 Pectinas.....	30
2.6 Efectos del uso de sustitutos de grasa sobre la microestructura y textura de quesos reducidos en grasa.....	34
2.7 Métodos de determinación de textura.....	36
III. JUSTIFICACIÓN.....	38
IV. OBJETIVO GENERAL.....	38
V. HIPÓTESIS.....	39
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
6.1 Efectos del tipo de grasa sobre la microestructura y las características texturales de análogos de queso.....	39
6.1.1 Formulaciones.....	39
6.1.2 Preparación de los análogos de queso.....	40
6.1.3 Evaluación sensorial de textura.....	42
6.1.4 Determinación instrumental de textura.....	43
6.1.5 Análisis de microestructura.....	44
6.1.6 Análisis de datos.....	44
6.2 Efectos de sustitutos de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.....	45
6.2.1 Formulaciones preliminares.....	45
6.2.2 Preparación de los análogos de queso.....	46
6.2.3 Determinación instrumental de textura.....	46
6.2.4 Análisis de datos.....	48
6.2.5 Formulaciones finales.....	48
6.2.6 Evaluación sensorial de textura.....	50

6.2.7 Análisis de datos.....	50
VII. RESULTADOS.....	51
7.1 Efectos del tipo de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.....	51
7.1.1 Características fisicoquímicas de los análogos de queso.....	51
7.1.2 Microestructura de los análogos integrados con distintos tipos de grasa.....	52
7.1.3 Características texturales instrumentales y sensoriales de los análogos de queso.....	58
7.1.4 Modelos de las características texturales.....	61
7.1.5 Relaciones entre las características texturales instrumentales.....	67
7.1.6 Relaciones entre las características texturales sensoriales.....	70
7.1.7 Relación entre las medidas instrumentales y sensoriales de textura.....	72
7.2 Efectos de sustitutos de grasa sobre la microestructura y las características texturales de análogos de queso.....	74
7.2.1 Modelos preliminares de las características texturales instrumentales de análogos de queso preparados con Simplese, Slendid y Dairy-lo.....	74
7.2.2 Características fisicoquímicas de los análogos de queso con Slendid y Dairy-lo.....	77
7.2.3 Microestructura de los análogos elaborados con Slendid y Dairy-lo.....	77
7.2.4 Características texturales instrumentales y sensoriales de los análogos de queso incorporados con Slendid y Dairy-lo.....	84
7.2.5 Modelos para las características instrumentales y sensoriales de los análogos de queso preparados con Slendid y Dairy-lo.....	86
7.2.6 Diagramas de contorno de las características texturales de los análogos formulados con Slendid y Dairy-lo.....	90
7.2.7 Distribución de los análogos de queso en el espacio bidimensional de componentes principales de acuerdo a sus características texturales instrumentales.....	99
7.2.8 Distribución de los análogos de queso en el espacio bidimensional de componentes principales de acuerdo a sus características texturales sensoriales.....	105
7.2.9 Representación gráfica de las características texturales de los análogos de queso con sustitutos.....	107
7.2.10 Relación entre las medidas sensorial e instrumental de las características texturales de los análogos de queso elaborados con Slendid y Dairy-lo....	110
VIII. DISCUSIÓN.....	114
8.1 Efectos del tipo de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.....	114
8.2 Efectos de sustitutos de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.....	123
IX. CONCLUSIONES.....	135
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

	página
Tabla 1. Necesidad, producción e importación de leche de bovino en México (millones de litros).....	5
Tabla 2. Volúmenes de importación y exportación de quesos (toneladas).....	5
Tabla 3. Características de algunos sustitutos de grasa recomendados para queso.....	27
Tabla 4. Características químicas de Simplese.....	27
Tabla 5. Características químicas de Dairy-lo.....	32
Tabla 6. Características de Slendid 200.....	32
Tabla 7. Formulaciones de análogos de queso, tipo de grasa y contenido en colesterol	41
Tabla 8. Formulaciones de análogos de queso para el estudio preliminar de Simplese, Dairy-lo y Slendid.....	47
Tabla 9. Formulaciones de análogos de queso incorporados con Slendid.....	49
Tabla 10. Formulaciones de análogos de queso incorporados con Dairy-lo.....	49
Tabla 11. Valores medios de las características texturales instrumentales de análogos de queso preparados con distintos tipos de grasa.....	59
Tabla 12. Valores medios de las características texturales sensoriales de análogos de queso elaborados con distintos tipos de grasa (Índices R).....	62
Tabla 13. Modelos de las características texturales de los análogos de queso en los que se integraron distintos tipos de grasa.....	62
Tabla 14. Correlaciones Canónicas entre las características instrumentales y sensoriales.....	73
Tabla 15. Coeficientes para las variables Canónicas.....	73
Tabla 16. Modelos polinomiales preliminares para las características texturales instrumentales de los análogos de queso incorporados con Simplese.....	76
Tabla 17. Modelos polinomiales preliminares para las características texturales instrumentales de los análogos de queso incorporados con Slendid.....	76
Tabla 18. Modelos polinomiales preliminares para las características texturales instrumentales de los análogos de queso incorporados con Dairy-lo.....	76
Tabla 19. Características fisicoquímicas de los análogos de queso reducidos en grasa formulados con Slendid.....	78
Tabla 20. Características fisicoquímicas de los análogos de queso reducidos en grasa formulados con Dairy-lo.....	78
Tabla 21. Características instrumentales de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Slendid.....	85
Tabla 22. Características instrumentales de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Dairy-lo.....	85
Tabla 23. Características sensoriales de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Slendid.....	87
Tabla 24. Características sensoriales de textura de análogos de queso	

reducidos en grasa con Dairy-lo.....	87
Tabla 25. Modelos para las características de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Slendid.....	89
Tabla 26. Modelos para las características de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Dairy-lo.....	89
Tabla 27. Correlaciones Canónicas entre las características instrumentales y sensoriales de los análogos preparados con Slendid.....	112
Tabla 28. Coeficientes para las variables Canónicas de las características texturales de los análogos incorporados con Slendid.....	112
Tabla 29. Correlaciones Canónicas entre las características instrumentales y sensoriales de los análogos preparados con Dairy-lo.....	112
Tabla 30. Coeficientes para las variables Canónicas de las características texturales de los análogos incorporados con Dairy-lo.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1. Micrografías de análogos de queso (a) grasa de soya y (b) aceite de soya...	53
Figura 2. Micrografías de análogos de queso (a) grasa butírica y (b) grasa de soya- aceite de soya (0.5-0.5).....	54
Figura 3. Micrografías de análogos de queso (a) grasa butírica-aceite de soya (0.5- 0.5) y (b) grasa butírica-grasa de soya.....	55
Figura 4. Micrografías de análogos de queso (a) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.33-0.33-0.33) y (b) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.6-0.2-0.2).....	56
Figura 5. Micrografías de análogos de queso (a) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.2-0.6-0.2) y (b) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.2-0.2-0.6).....	57
Figura 6. Superficies de respuesta para (a) dureza y (b) firmeza de los análogos de queso dependiendo del tipo de grasa incorporado en su formulación.....	63
Figura 7.. Superficies de respuesta para (a) elasticidad instrumental y (b) elasticidad sensorial de los análogos de queso dependiendo del tipo de grasa incorporado en su formulación.....	65
Figura 8. Superficies de respuesta para (a) sensación bucal y (b) cremosidad de los análogos de queso dependiendo del tipo de grasa incorporado en su formulación.....	66
Figura 9. Diagrama de componentes principales de las características instrumentales de textura de los análogos de queso preparados con distintos tipos de grasa.....	69
Figura 10. Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de textura de los análogos de queso preparados con distintos tipos de grasa...	71
Figura 11. Diagrama de correlaciones canónicas entre las características sensoriales e instrumentales de textura de los análogos de queso elaborados con distintos tipos de grasas.....	75
Figura 12. Micrografías de análogos de queso (a) completo en grasa (0.0-0.36-0.64) y (b) reducido en grasa (0.0-0.17-0.83).....	79
Figura 13. Micrografías de análogos de queso (a) formulación con Slendid (0.042-0.247-0.711) 3000X y (b) formulación con Slendid (0.042-0.247-0.711) 1200X.....	81
Figura 14. Micrografías de análogos de queso (a) formulación con Slendid (0.056-0.20-0.744) y (b) formulación con Dairy-lo (0.042-0.257-0.701).....	82
Figura 15. Micrografía de análogo con Dairy-lo (0.056-0.21-0.734).....	83
Figura 16. Diagramas de contornos para (a) dureza y (b) firmeza de los análogos de queso incorporados con Slendid.....	92
Figura 17. Diagramas de contornos para (a) dureza y (b) firmeza de los análogos de queso incorporados con Dairy-lo.....	94
Figura 18. Diagramas de contornos para cohesividad (a) instrumental y (b) sensorial de los análogos de queso incorporados con Slendid.....	95
Figura 19. Diagrama de contornos para cohesividad instrumental de los análogos de	

queso incorporados con Dairy-lo.....	97
Figura 20. Diagramas de contornos para masticabilidad instrumental de los análogos de queso incorporados con (a) Slendid y (b) Dairy-lo.....	98
Figura 21. Diagramas de contornos para recubrimiento bucal de los análogos de queso incorporados con (a) Slendid y (b) Dairy-lo.....	100
Figura 22. Diagrama de contornos para la adhesividad sensorial de los análogos de queso incorporados con Slendid.....	101
Figura 23. Diagrama de componentes principales de las características instrumentales de textura de los análogos preparados con Slendid.....	102
Figura 24. Diagrama de componentes principales de las características instrumentales de textura de los análogos preparados con Dairy-lo.....	104
Figura 25. Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de textura de los análogos preparados con Slendid.....	106
Figura 26. Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de textura de los análogos preparados con Dairy-lo.....	108
Figura 27. Representaciones poligonales de las características texturales sensoriales (a) e instrumentales (b) de los análogos preparados con Slendid.....	109
Figura 28. Representaciones poligonales de las características texturales sensoriales (a) e instrumentales (b) de los análogos preparados con Dairy-lo.....	111
Figura 29. Diagrama de correlaciones canónicas entre las características sensoriales e instrumentales de textura de los análogos de queso elaborados con Slendid.....	113
Figura 30. Diagrama de correlaciones canónicas entre las características sensoriales e instrumentales de textura de los análogos de queso elaborados con Dairy-lo.....	115

I. INTRODUCCIÓN

La falta de disponibilidad de leche fluida en nuestro país, hace necesario el desarrollo de tecnologías que permitan la fabricación de queso a partir de otros ingredientes. Los análogos de queso constituyen una alternativa viable, presentando además la ventaja de ser susceptibles a la formulación controlada de sus componentes.

El queso, alimento relevante en la dieta de los mexicanos, proporciona calcio y proteínas de excelente calidad biológica, aunque también constituye una fuente de grasa de origen animal, cuyos porcentajes en ácidos grasos saturados y colesterol son relativamente altos. Cabe considerar que aún cuando en México grandes sectores de la población presentan algún grado de desnutrición, causado por dietas deficientes en calorías, la incidencia de padecimientos cardiovasculares se ha incrementado en los últimos años, siendo la principal causa de mortalidad.

La situación antes expuesta, lleva a la reflexión acerca de la importancia de la formulación por una parte, de quesos con grasas y aceites poliinsaturados que disminuyan el riesgo de formación de ateromas arteriales, pero que contribuyan energéticamente en forma similar al producto original; y por la otra, del desarrollo de quesos de bajo contenido graso, dirigidos a la población que presenta disturbios metabólicos y/o problemas de obesidad.

Es importante señalar que modificaciones en la composición química del queso, producen alteraciones en su microestructura. El arreglo interno del queso como función de

interacciones entre los componentes de la leche y otros de origen distinto, ha sido escasamente explorado. Las investigaciones realizadas en general, se han concentrado en el proceso de elaboración, la proteólisis durante la maduración y el contenido graso del queso; pero no se conocen los efectos de la incorporación de distintos tipos de grasas o sustitutos de grasa, que permitan la sustitución parcial o total de la grasa butírica presente en el queso.

La importancia del estudio de cambios en la microestructura del queso como respuesta a variaciones en su composición, radica en la estrecha relación entre microestructura, características texturales instrumentales y atributos sensoriales de textura del producto. Se ha despertado gran interés en interrelacionar estos tres aspectos, de tal forma que sea posible estimar el efecto global del uso de nuevos ingredientes, como es el caso de los sustitutos de grasa.

II. ANTECEDENTES

2.1 Volúmenes de producción de leche y queso en México.

El incremento en la producción de leche en nuestro país, es un factor que debe ser considerado como de suma importancia, debido a que la leche constituye una fuente de proteína de alta calidad biológica, y desempeña un papel primordial en el aseguramiento nutricional de la población. El acentuado crecimiento demográfico, mayor concentración de la población en núcleos urbanos, así como la predilección por un patrón de consumo ideal

basado en proteína, han convertido a la leche en un producto cada vez más relevante en la dieta del mexicano.

A pesar de lo antes mencionado, la producción nacional resulta insuficiente. El déficit año con año ha crecido, y de continuar con las políticas del gobierno consistentes en subsidiar al consumo y no a la producción, la dependencia de la importación seguirá aumentando (tabla 1). La producción nacional de leche durante el período 1990-1997, mostró un crecimiento porcentual del 27.79; de una producción de 6 141 millones de litros en 1990, alcanzó los 7 848 millones de litros en 1997. Se puede mencionar que la tasa media de crecimiento anual de la producción de leche alcanzó un valor de 3.47% (Bustamante, 1997; Confederación Nacional Ganadera, 1997).

Al comparar los volúmenes de producción de leche con los requeridos para cubrir la demanda nacional (tabla 1), se observa que nuestro país presenta un déficit de leche fluida de 40%. Lo anterior ha generado la importación de grandes cantidades de leche en polvo, a tal grado que México es el principal comprador de los excedentes de leche ofertados en el mundo, 36% del total mundial, seguido por Japón, 15.4% (Aserca, 1996).

La deficiencia en el abasto de leche tiene efecto no solamente sobre el mercado de consumo directo, sino también sobre las industrias procesadoras, entre las que destaca la quesera por su demanda. En los últimos años, no solo no se ha incrementado la producción de queso en forma paralela a la demanda, sino por el contrario ha disminuido; por ejemplo, en abril de 1997 se produjeron 9 656 ton de queso (amarillo, Chihuahua, doble crema, fresco.

Manchego, Oaxaca y Panela), cifra menor a la de 10 010 ton obtenida en el mismo mes del año de 1994 (INEGI, 1998). El bajo volumen de producción de queso durante el año pasado, provocó en gran medida la importación de 25 689 ton de este alimento, cantidad que representó un incremento del 91.5%, con respecto a la importada en 1991 (tabla 2) (Confederación Nacional Ganadera, 1997).

2.2 Razones que han motivado el desarrollo de quesos reducidos en grasa.

Se ha reconocido a la dieta del ser humano, como un factor controlable en la etiología multifactorial de enfermedades del corazón, embolias y cáncer (Grundy, 1991; Giese, 1992). El consumidor consciente de lo antes mencionado, ha modificado sus preferencias alimenticias poniendo especial cuidado en la grasa ingerida.

Los atributos nutrimentales que más le preocupan al consumidor son, en orden de importancia, el contenido de grasa total, la relación grasas saturadas/grasas no saturadas y el contenido de colesterol (Bruhn y col., 1992). Los expertos en salud recomiendan que solamente el 30% o menos de las calorías diarias, deben provenir de grasas (Kantor, 1990). Especial atención deben poner las personas que padecen anomalías metabólicas, acentuadas por una dieta inapropiada; tal sería el caso de las enfermedades cardiovasculares, destacando la aterosclerosis, donde las dietas ricas en grasas de origen animal, y por ende en colesterol, potencializan el problema. Cabe considerar, que a partir del año de 1980, las enfermedades

Tabla 1. Necesidad, producción e importación de leche de bovino en México (millones de litros).

Año	Necesidad ^a	Producción	Importación	Disponibilidad	(%) CDA ^b
1990	14 530	6 141	3 364	9 506	35
1991	15 324	6 717	2 010	8 727	23
1992	15 799	6 966	4 262	11 236	38
1993	16 447	7 404	4 596	12 000	38
1994	16 543	7 320	3 930	11 250	35
1995	16 401	7 398	2 820	10 218	27
1996	16 736	7 586	3 138	10 724	29
1997	17 071	7 848	3 485	11 333	31

^aLa F.A.O. considera un consumo mínimo de 0.5 l diarios por habitante. ^bC.DA (Coeficiente de dependencia alimentaria) = importaciones/disponibilidad (producción nacional + importaciones).
Fuente: Bustamante (1997), Confederación Nacional Ganadera (1997).

Tabla 2. Volúmenes de importación y exportación de quesos (toneladas).

Denominación	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Importación ^a	13,415	23,572	29,484	36,380	16,272	20,481	25,689
Exportación	4	70	14	16	33	152	405

^a Principalmente quesos de los tipos: duro, semi-duro, rallado y en polvo, provenientes de Holanda, Francia, Italia, Uruguay y Noruega (Aserca, 1996; Muñoz, 1997).
Fuente: Confederación Nacional Ganadera (1997).

cardiovasculares son consideradas como las principales causas de muerte en nuestro país (Trejo y Lozano, 1990).

El queso, es una fuente importante de proteínas y calcio, pero también lo es de grasa. Debido a su riqueza en grasa butírica, personas con problemas de peso y/o metabólicos, se ven obligadas a consumirlo en forma restringida. Lo antes expuesto, ha impulsado la investigación sobre quesos bajos en grasa (Emmons y col., 1980; Mistry y Anderson, 1993; Bryant y col., 1995).

La disminución de la grasa presente en la leche utilizada en la elaboración de queso, produce un alimento de menor densidad energética, que además tiene la ventaja de aportar a la dieta cantidades más bajas de ácidos grasos saturados y colesterol, en comparación con su contraparte completa en grasa (Kantor, 1990; Bryant y col., 1995). La posibilidad de sustituir grasas animales por aceites y grasas vegetales, las cuales son libres de colesterol y contienen niveles bajos de ácidos grasos saturados, no ha sido explorada extensivamente, y las contribuciones texturales de los diferentes tipos de grasa se desconocen.

2.3 Análogos de queso.

Un análogo de queso es básicamente una emulsión de aceite en agua, al igual que el queso natural, donde la grasa es incorporada a una matriz de proteína que funciona como emulsionante (Pangborn y Eymery, 1988). Además se incorporan sales llamadas emulsificantes, que operan como agentes quelantes, aumentando las propiedades tensoactivas

de las proteínas y como amortiguadores para conservar el pH en niveles adecuados (Shimp, 1985; Cavalier y Cheftel 1991).

De manera general pueden citarse las principales ventajas que se tienen en la fabricación de análogos de queso sobre la de los quesos naturales: a) no se requiere de mantener un inóculo productor de ácido láctico, b) no se tienen subproductos como el suero y por tanto no se necesita realizar la operación de desuerado, c) el proceso de producción es continuo contra un proceso en lotes que se tiene en la fabricación convencional de queso, d) la diferencia en precios entre éstos es notable, siendo favorecido el análogo (Shaw, 1984).

Los análogos de queso, pueden elaborarse de tal manera que tengan equivalencia nutricia con su contraparte natural y cuando así se requiera, inclusive pueden presentar ventajas; por ejemplo, las proteínas pueden utilizarse en los mismos niveles que en el queso y en el caso de las grasas, éstas pueden ser de origen vegetal, poliinsaturadas o bien con determinado tipo de ácidos grasos, de tal manera que ofrezcan ciertas características dietéticas con objeto de mantener una buena salud (LaBell, 1988).

Aunque la literatura existente sobre el desarrollo de formulaciones de quesos análogos y su tecnología de elaboración es escasa o es referida en patentes, se sabe que se han utilizado con éxito diversos aceites vegetales y caseína o sus sales como fuente proteínica principal (Chen y col., 1979; Galal, 1983; Gennip, 1988; Cavalier y Cheftel, 1991).

2.3.1 Fracción proteínica. Se recomienda el uso de sales de caseína para la elaboración de análogos de queso, por sus propiedades funcionales estructurales, surfactantes, reológicas y de hidratación, entre otras. La actividad surfactante de los caseinatos es importante para la estabilización de la emulsión, debido a su acción contra el fenómeno de coalescencia. La estabilidad de una emulsión depende de un delicado balance entre fuerzas de repulsión y atracción; las proteínas son adsorbidas en las interfases, de tal manera que los residuos hidrofílicos de los aminoácidos se orientan hacia la fase acuosa, mientras que los segmentos hidrofóbicos de las moléculas de proteína se unen a la fase no polar o lipídica. El resultado neto es una reducción en la energía libre del sistema, mejorándose así la estabilidad de la emulsión. Los caseinatos son adsorbidos más rápidamente en interfases que otras proteínas lácteas, por lo que en menor tiempo disminuyen la tensión superficial. El caseinato de sodio proporciona alta viscosidad, que controla la velocidad de aproximación de los glóbulos de aceite o grasa, y de esta forma coadyuva a la estabilidad de la emulsión (Modler, 1985).

El uso de caseinatos en la elaboración de análogos de queso presenta además ciertas ventajas en relación al de la leche entera, tales como manejo más fácil y económico, y conservación de su calidad nutrimental, inclusive superior a la de la caseína (Swanson y col., 1982). El caseinato de calcio además aporta calcio (Ruiz, 1989).

Generalmente, los caseinatos de sodio y de calcio, no se integran en forma individual en la elaboración de análogos de queso, sino que dichas formulaciones están constituidas por mezclas de ambos. Se ha observado que al utilizar caseinato de calcio, como única fuente

proteínica, se obtienen emulsiones que tienden a romperse, como respuesta al efecto que las condiciones del proceso tienen sobre éste. El caseinato de sodio por su parte, forma geles a concentraciones de 17%, es termoestable, soporta temperaturas de 140°C por 15 min, por lo que se ajusta de mejor forma a las condiciones del proceso; no obstante, el producto resultante provoca una sensación de caucho al masticarse (Gennip, 1988). También es importante señalar que el caseinato de sodio es completamente soluble en agua y el de calcio forma dispersiones coloidales. El agua retenida por el caseinato de calcio es menor que la ligada por el caseinato de sodio. Estas diferencias se atribuyen al tipo de catión asociado con las caseínas, el catión de calcio absorbe de 1 a 7 moles de agua/mol de catión, mientras que el de sodio absorbe de 3 a 18 moles de agua/mol de catión (Modler, 1985).

En el caso de los análogos de queso se ha establecido una cantidad mínima de 70% de caseinato de sodio, en la fracción proteínica, para la obtención de productos con cualidades de estiramiento, semejantes a las del queso tipo Mozzarella (Rule, 1978).

2.3.2 Fracción grasa. El componente graso tiene un impacto importante en la textura del producto, así como también sobre su valor calórico. La relación proteína/grasa limita la dureza y fundido de un queso (Shimp, 1985).

La mayor diferencia entre el queso natural y sus análogos, la constituye el tipo de grasa que se puede encontrar en los mismos. El queso natural se elabora con grasa de leche, mientras que los aceites y/o grasas vegetales, que presentan un grado de insaturación apreciable, son usados en los análogos. Generalmente se usa un aceite vegetal, altamente poliinsaturado, como

los de maíz y cártamo, o una grasa parcialmente hidrogenada de coco, soya, palma o algodón (Swanson y col., 1982).

Las fracciones grasas regularmente usadas en la elaboración de análogos de queso, son mezclas de una grasa suave (70-78%) y una de triacilglicéridos (22-30%). La composición de ácidos grasos de los triglicéridos, está formada por 87-97% de ácido láurico y aproximadamente 3% de ácidos palmítico y esteárico. Otro tipo de estas grasas de bajo punto de fusión está compuesta por 50-80% de una grasa suave y 20-50% de un componente con punto de fusión intermedio, conteniendo ácidos grasos insaturados en un 60%. Para proporcionar la textura y apariencia deseadas, similares a las de un queso natural, es esencial que la grasa de bajo punto de fusión se encuentre presente en una proporción de 10-40% en peso con respecto a la composición total del producto (Seiden, 1974).

2.3.3 Sales emulsificantes. Una de las formas más efectivas para controlar las propiedades del queso la constituye el uso de sales emulsificantes. Las más comúnmente utilizadas son: citrato de sodio, fosfato de sodio y aluminio, fosfato monosódico, fosfato disódico, fosfato trisódico, pirofosfato tetrasódico, tri-polifosfato de sodio, hexa-metafosfato de sodio y metafosfato insoluble. Estas sales no son emulsificantes en el sentido estricto por no ser agentes surfactantes (Caric y col., 1985; Shimp, 1985).

Los polifosfatos, fosfatos y citrato de sodio son las sales fundentes o emulsificantes de mayor uso en la elaboración de análogos de queso, ya sea solas o en combinación. Sus funciones durante el procesamiento son las de secuestrar calcio, incluyendo el contenido en los

fragmentos de proteína, solubilizar la proteína e incrementar su hidratación, para facilitar así la emulsificación de la grasa; además ajustan y estabilizan el pH del producto. Las sales fundentes remueven el calcio intercambiándolo por sodio, sin afectar la porción hidrofóbica de las proteínas, por no ser liposolubles (Caric y col., 1985). Las sales emulsificantes más apreciadas en la elaboración de análogos, son aquellas que ligan débilmente al calcio, formando una emulsión débil que produce un queso suave o semiduro con propiedades fundentes (Shimp, 1985).

2.3.4 Acidulantes. Los ácidos láctico, clorhídrico, acético, adípico, así como una mezcla de agua-ácido cítrico-ácido láctico-ácido acético-sabores artificiales, pueden utilizarse para controlar el pH de los análogos de queso (Wynn, 1978). La acidez del producto influye en su cuerpo, vida de anaquel y propiedades sensoriales. Se recomienda que se incorpore el ácido necesario para alcanzar valores de pH entre 5.2-5.8 en el producto. Un alto contenido de ácido evita el tostado y disminuye las características de fusión del queso, afectando la elasticidad; por el contrario, un bajo contenido de ácido causa el tostado y la formación de corteza, fundiendo el queso sólo por debajo (Rule, 1978).

El pH del queso altera la configuración de la proteína y su solubilidad, así como la eficiencia de las sales emulsificantes para ligar calcio. En condiciones normales el pH del queso es superior al punto isoelectrico de la caseína, habiendo un exceso de cargas negativas en la molécula; sin embargo, cuando el pH del queso es menor a 5 pueden suceder dos fenómenos: a) El queso se desmorona porque las uniones entre las proteínas se han roto y b) la grasa no se emulsiona. Por otra parte, si el pH aumenta las uniones entre las cadenas de

proteína y su solubilidad mejoran, formando un queso más elástico, con mayor emulsificación de la grasa. Un pH superior a 6.5 es excesivo y no se encuentra dentro de los rangos normales (Wynn y col., 1978).

2.3.5 Otros Componentes. A las formulaciones de análogos de queso, se les adicionan saborizantes artificiales o queso natural en polvo, con el fin de mejorar su sabor. También se puede incorporar un colorantes a base de achiote (*Annato bixina*), para proporcionar el color característico del queso. El sorbato de potasio en conjunción con un pH bajo, inhibe el crecimiento microbiano en el producto (Cavalier y Cheftel ,1991). El cloruro de sodio resalta el sabor del queso (Galal, 1983).

Uno de los factores que influye notablemente en la consistencia de los análogos de queso, es la humedad. Los quesos fundidos para tajar contienen alrededor de 41-44% de humedad (Galal, 1983).

2.4 Influencia de la grasa sobre la microestructura y textura del queso y análogos.

La grasa desempeña múltiples funciones en el queso y derivados lácteos, entre las que destacan sus contribuciones a los atributos de apariencia (opacidad), sabor, aroma, sensación bucal, cremosidad, suavidad, fundido, manejo, procesamiento, estabilidad y saciedad (Dziezak, 1989; Clark, 1994; Lucca y Tepper, 1994; Drake y col., 1996a).

Al ser la grasa, uno de los componentes estructurales más importantes del queso y sus análogos, junto con la proteína y el agua, alteraciones en su contenido, tipo y distribución, modifican el arreglo interno de los elementos que conforman la microestructura del producto (Bryant y col., 1995; Rosenberg y col., 1995) y como consecuencia su textura es afectada (Rayan y col., 1980; Pangborn y Eymery, 1988; Marshall, 1990; Stampanoni y Noble, 1991; Bryant y col., 1995).

La microestructura del queso consiste de una matriz continua de proteína con una estructura relajada y abierta, con espacios ocupados por los glóbulos de grasa, dispersos a través de la red proteínica (Bryant y col., 1995). Alrededor de las cadenas de caseína, se presentan surcos profundos, denominados canales de suero, que son regiones conteniendo agua como componente predominante (Kimber y col., 1974; McMahon y col., 1996). El arreglo estructural de la red de proteína del queso determina sus características texturales y es afectada por factores tales como composición, proceso de elaboración, proteólisis durante la maduración y tamaño y distribución de las partículas de grasa (Lagoueyte y col., 1994; Bryant y col., 1995; Sutheerawattananonda y col., 1997).

Caric y col. (1985), al investigar los efectos que los agentes emulsificantes tienen sobre la microestructura y otras características de quesos procesados, encontraron que el mezclado y calentamiento aplicados durante el proceso de elaboración de los análogos de queso, provoca que la estructura reticular de la grasa se rompa y la grasa fundida forme partículas de varios micrómetros de diámetro. También mencionan que la emulsificación es completa cuando los glóbulos de grasa son esféricos y están separados unos de otros; en contraste, este proceso

todavía se encuentra en desarrollo cuando dichas partículas son alargadas o existen en forma de cadenas. Las sales como el citrato de sodio, incrementan las propiedades emulsificantes naturales de las proteínas, y la grasa se dispersa en la forma de glóbulos diminutos. Los quesos que tienen una buena emulsificación presentan glóbulos de grasa muy pequeños casi perdidos en la red proteínica, reduciendo así el papel estructural de la grasa (Shimp, 1985); por lo que el tamaño de las partículas de grasa se considera como parámetro de referencia en la evaluación del grado de emulsificación en quesos procesados (Shaw, 1984). El proceso de elaboración del queso influye sobre el tamaño de las partículas de grasa; Gennip (1988), encontró diferencias apreciables en el diámetro de las partículas de grasa en quesos procesados, cuyo método de elaboración es semejante al de los análogos, en el queso Cheddar procesado el diámetro de los glóbulos de grasa varió sobre un amplio rango, superior a $20\mu\text{m}$ de diámetro, debido a que en su fabricación se involucra el desvanecimiento de las membranas de los glóbulos de grasa, como resultado del calentamiento, fundido y agitación del queso, y posteriormente esta grasa es reemulsificada. Tamime y col. (1990), al revisar la microestructura de quesos procesados por microscopía electrónica, observaron que las partículas de grasa emulsificadas, tuvieron forma globular en el queso procesado fresco y estuvieron mas o menos uniformemente distribuidas en la matriz de proteína.

Larsson (1986) citado por Heertje (1993), informa que los triacilglicerolos de altos puntos de fusión de la grasa presente en los alimentos, cristalizan como agregados de distintos tipos: sub- α , α , β' y β , siendo las dos primeras inestables. La modificación β' (cristales en forma de plaquetas o agujas) es estable, pero su red cristalina es menos ordenada que la de la

modificación β (agregados esféricos de cristales en forma de agujas). La granulosidad de margarina y grasas vegetales ha sido relacionada con la presencia de agregados de cristales de grasa en la modificación β .

McMahon y col. (1996), observaron en queso Mozzarella bajo en grasa, una matriz de proteína continua, entremezclada con canales de suero; estos últimos contuvieron originalmente los glóbulos de grasa y la mayoría de las bacterias, los cuales se perdieron durante la preparación de la muestra para Microscopía Electrónica de Barrido, en las fases de fractura y deshidratación con etanol. Dichos autores mencionan que una de las funciones de la grasa en el queso es la formación de canales de suero.

Chen y col. (1979), investigaron la textura de diferentes variedades de queso, cuyos rangos en grasa y humedad fueron 18-32% y 44-30% respectivamente, y encontraron que las características de dureza, elasticidad y adhesividad estuvieron correlacionadas principalmente con la proteína presente en el queso y no con sus contenidos en grasa y humedad.

Emmons y col. (1980), al analizar la microestructura de queso Cheddar completo en grasa y de aquellos reducidos en grasa, elaborados con leche homogeneizada y sin homogeneizar, encontraron que el queso bajo en grasa fue más elástico que aquél completo en este componente, ya que al disminuir el número de glóbulos de grasa se tuvo más caseína a deformar por unidad de volumen. Sin embargo, al incrementar la presión de homogeneización, la elasticidad de los quesos decreció, como consecuencia a aumentos en su humedad. Parnell y

col. (1985), informaron de una relación inversa, de alta significación, entre la dureza de queso blanco y el contenido de humedad del cuajo. Una reducción de humedad del 1%, se reflejó en incrementos en la fuerza de 0.405 kg. Al incrementar la proporción de agua con respecto a la proteína del queso, éste se convirtió en más suave, debido a que el agua actúa como lubricante o plastificante entre las moléculas de proteína, fenómeno que incrementa la flexibilidad del producto (Glicksman, 1991).

Green y col. (1981), observaron que aumentos en la concentración de la leche usada en la preparación de quesos Cheddar, se reflejaron en incrementos en la firmeza instrumental, cohesividad y fuerza y compresión necesarias para causar fracturas; así como en aumentos en los parámetros sensoriales de firmeza, desmoronamiento, granulosidad y sequedad del queso. Dichas diferencias texturales de los quesos, estuvieron relacionadas con menores contenidos de grasa, niveles más bajos de proteólisis, uniones más fuertes en la matriz proteínica y reducida capacidad de las fases grasa y proteínica para moverse una en relación de otra. Estos investigadores, también mencionan que el sabor del queso se produce a través de la acción de las bacterias en el área interfacial grasa/proteína, por lo que al disminuir ésta en el queso, la intensidad del sabor disminuye y predomina el del ácido láctico originado por la fermentación de la lactosa.

Yang y Taranto (1982), al investigar las características texturales de análogos de queso elaborados a partir de una base de soya adicionada de grasa de coco, no observaron efecto del contenido graso sobre los valores de cohesividad y elasticidad; pero sí existió una relación directa entre el contenido de grasa y la dureza de los productos.

Masi y Addeo (1986), al examinar las propiedades mecánicas de un grupo de quesos italianos y su relación con su estructura y condiciones de elaboración, informaron que el comportamiento mecánico del producto depende principalmente de la resistencia a la deformación de la matriz de caseína, y factores tales como grasa, humedad o contenido mineral, alteran su capacidad de deformación e influyen considerablemente sobre su comportamiento mecánico; de esta manera, la rigidez del queso se incrementó linealmente conforme el contenido de grasa de sus sólidos se redujo. Las proteínas del queso, principalmente la caseína, contribuyen a su dureza; por su parte, la grasa y el agua le confieren suavidad (Lawrence y col., 1984).

Tunick y col. (1991), demostraron que al disminuir la humedad en quesos reducidos en grasa, su dureza se incrementó, debido a alteraciones en la red proteínica, así como también a la acción lubricante o plastificante del agua entre las proteínas.

Stampanoni y Noble (1991), al investigar la influencia de los contenidos en grasa, ácido y sal de análogos de queso sobre la percepción de sus atributos de sabor y textura, demostraron que los análogos de queso bajos en grasa fueron más firmes y elásticos, pero menos cohesivos y adhesivos; además de presentar menor lisura que el producto completo en grasa. Asimismo, estos autores sugirieron que la disminución de grasa provocó que las fracciones de caseína formaran agregados compactos, que resultaron en aumentos en la firmeza y elasticidad del producto.

Tunick y col. (1993), informaron que el queso Mozzarella reducido en grasa, presentó mayor dureza, elasticidad y menor fundido que aquel completo en grasa. En su investigación, estos autores lograron la elaboración de un queso Mozzarella bajo en grasa de características texturales y fundentes comparables a las del producto alto en grasa, a través del uso de leche homogeneizada, temperatura menor de preparación y almacenamiento bajo refrigeración.

Mistry y Anderson (1993), estudiaron la microestructura de quesos comerciales completos y reducidos en grasa, de diferentes tipos (Cheddar, Mozzarella, procesado y Suizo), e informaron que los primeros fueron caracterizados por un gran número de glóbulos de grasa distribuidos en la matriz de proteína, cuya forma y tamaño fue muy variable (a excepción del queso procesado), además de encontrarse algunos en forma agregada. En los quesos reducidos en grasa, el número y agregación de los glóbulos de grasa dispersos disminuyeron, así como también su tamaño en los quesos Suizo y procesado; en el caso de este último, debido al uso de sales emulsificantes en su elaboración. Estos autores mencionan que la grasa butírica, de bajo punto de fusión, interrumpe la estructura dura de la matriz de proteína y de esta manera contribuye a la suavidad característica del queso.

McMahon y col. (1993), informaron que la rigidez de la matriz proteínica del queso, depende de la longitud y anchura de sus celdas, características que dependen por una parte, de las fuerzas de interacción entre las cadenas de proteínas y por otra parte, del tamaño de los glóbulos de grasa, así como del espacio entre éstos. Conforme la grasa es removida en el queso, se reduce el número de glóbulos de grasa disponibles en las fibras de caseína, lo que conlleva a una mayor compactación de la estructura de malla y una consecuente inhabilidad

para retener humedad. La presencia de grasa dentro de las celdas de proteína modifica y limita la extensión de la deformación, restando rigidez a la estructura. Al mismo tiempo el agua actúa como un lubricante, menos viscoso, entre la grasa y la caseína.

Oberg y col. (1993), mostraron que gran parte del agua en el queso Mozzarella, está contenida en las columnas de suero, las cuales en conjunto con la grasa separan las fibras de proteína formadas durante el cocimiento y extendido de la cuajada de queso. Estos investigadores también mencionan que al reducir la grasa en el queso, ocurre más fusión de la matriz de proteína y las columnas de suero y grasa se vuelven más pequeñas, disminuyendo el espacio necesario para que el agua sea retenida en la cuajada del queso.

Pagliarini y Beatrice (1994), informaron que al disminuir el contenido graso de queso Mozzarella, se requirió de mayor energía de compresión y se incrementó la resistencia máxima al estiramiento.

Anderson y Mistry (1994), observaron en quesos Cheddar elaborados a partir de leches con diferentes grados de concentración, que la distribución de los glóbulos de grasa, así como el área que ocuparon en la matriz de proteína, se redujeron al disminuir su contenido graso. El cuerpo de los quesos con menos grasa tendió a ser firme y su textura menos elástica.

Metzger y Mistry (1995), identificaron en quesos Cheddar reducidos en grasa, de baja y alta humedad, la dispersión de un menor número de glóbulos de grasa que en el queso completo en este componente, lo cual explicó la textura elástica y dura de ambos quesos

reducidos en grasa; en contraste, en los quesos reducidos en grasa, de baja y alta humedad, elaborados con crema homogeneizada, la matriz de proteína fue interrumpida por un gran número de glóbulos de grasa pequeños, los cuales les proporcionaron suavidad, lisura y cremosidad. La caseína proporcionó dureza al queso, la grasa y el agua contribuyeron a su suavidad.

Ustunol y col. (1995), demostraron mediante la aplicación de pruebas dinámicas, que reducciones en el contenido graso de queso Cheddar provocaron incrementos en su elasticidad y viscosidad; a pesar de que en esos quesos, en forma paralela, se aumentaron sus contenidos de humedad.

Bryant y col. (1995), al reducir la grasa de queso Cheddar, observaron la formación de una matriz proteínica más compacta, asociada con aumentos en la dureza, la elasticidad, y la cohesividad, y disminuciones en la adhesividad del producto. La matriz proteínica de los quesos bajos en grasa (34-13%) no se suavizó ni fue más elástica, a pesar de incrementos en la humedad de los distintos quesos (38.4-44.7%). La cohesividad sensorial, en forma contraria a la determinada instrumentalmente, disminuyó conforme la densidad de la matriz de proteína se incrementó. Estos autores mencionan que los quesos bajos en grasa presentaron mayor cohesividad, ya que aumentos en su elasticidad se tradujeron en mayor resistencia a la deformación y ruptura. Sin embargo, el panel sensorial catalogó a los quesos bajos en grasa como desmoronables y susceptibles a la ruptura, probablemente por la agudeza de los molares y gran velocidad de mordida, en comparación con la forma de la placa compresora y velocidad aplicadas por el equipo. Una de las conclusiones de este trabajo es la de que para la obtención

de un producto bajo en grasa de textura aceptable comercialmente, se requiere controlar la densidad de la estructura proteínica, que resulta de una alta concentración de proteína inalterada por la grasa. El uso de grasa con mayor índice de insaturación en la elaboración de queso Cheddar bajo en grasa, mejoró sus características texturales, debido a la formación de glóbulos de grasa de menor tamaño (Baer y col., 1996).

Drake y col. (1996), estudiaron el efecto de la incorporación de lecitina en la preparación de quesos Cheddar bajos en grasa, e informaron de la presencia de agregados posiblemente constituidos por lecitina y proteína, que favorecieron la retención de humedad en el queso, lo que contribuyó a su lubricidad y cremosidad, y redujo su desmoronamiento. La lecitina confirió sabor amargo y olor a petróleo al queso.

Fife y col. (1996), al estudiar la funcionalidad de quesos Mozzarella de diferentes contenidos de grasa, pudieron determinar que las características de fundido del queso fueron afectadas por la reducción de la grasa, y que incrementos en la capacidad de retención de agua mejoraron algunas de las características de fundido. Además, confirmaron que los quesos bajos en grasa requieren de la adición de sustitutos que atrapen agua y que proporcionen propiedades lubricantes, las cuales son comúnmente suministradas por los glóbulos de grasa.

Hassan y Frank (1997), mediante la técnica de microscopía de barrido, observaron que las cápsulas de *Streptococcus thermophilus* y los glóbulos de grasa produjeron una matriz de caseína abierta con grandes poros, de tal manera que sus efectos en la reducción de la tensión y firmeza de la cuajada fueron similares. Las cápsulas de la bacteria tuvieron la habilidad para

sustituir la función de la grasa sobre la textura de la cuajada, a través de la disminución del predominio de la matriz estructural y la captación del agua necesaria.

Perry y col. (1997), al aplicar la técnica de microscopía electrónica de barrido, comprobaron que cultivos productores de exopolisacáridos evitaron la coalescencia de las proteínas del queso Mozzarella, debido a que la formación de cápsulas en la matriz de proteína, facilitaron la formación de canales de suero e incrementaron la retención de humedad.

2.5 Funcionalidad de los sustitutos de grasa en queso.

La reducción indiscriminada del componente graso de la leche produce un queso de características físicas y organolépticas inferiores a las del producto de contenido graso normal, y éstas afectan su aceptación por el consumidor e impacto comercial (Olson y Johnson, 1990; Drake y col., 1996a). Para elaborar un queso cuyo contenido en grasa sea del 10%, es necesario modificar el procedimiento regular, de lo contrario se obtiene un producto usualmente duro, elástico y translúcido, con desarrollo de sabor deficiente y en algunos casos con problemas en su fundido (Mistry y Anderson, 1993). Estas propiedades pueden ser mejoradas, si el contenido de agua del queso se incrementa a través de la incorporación de proteínas de suero en la cuajada (Merrill y col., 1994), añadiendo ingredientes que enlacen humedad o que impartan características semejantes a las de la grasa cuando se incorporan en la matriz del queso (Mitchell, 1993 citado por McMahon y col., 1996). Con base en lo

anterior, se ha sugerido el uso de ciertos ingredientes, denominados sustitutos de grasa, para proporcionar las cualidades tradicionales de este alimento (McMahon y col., 1993).

Los sustitutos de grasa deben presentar analogía funcional con las grasas que reemplazan, ser libres de efectos tóxicos y no producir metabolitos diferentes a los formados a partir de las grasas naturales o constituir sustancias que el organismo excrete por completo (Lucca y Tepper, 1994). Algunos sustitutos pueden reducir la absorción de otros macronutrientes y ciertas vitaminas liposolubles. Las propiedades físicas (estabilidad térmica, formación de espuma, etc.) de las sustancias que integran los sustitutos, pueden limitar su uso en ciertos alimentos (Singhal y col., 1991).

En la selección de un sustituto de grasa para la elaboración de quesos bajos en grasa, se deben considerar las siguientes características: a) nivel de microparticulación, b) tamaño de las partículas, c) interacción del sustituto con las caseínas, d) cantidad de sustituto de grasa recomendada, e) distribución del sustituto entre la matriz de caseína y el suero del queso y f) distribución (rendimiento) del sustituto entre la cuajada y el suero (McMahon y col., 1996).

Se ha mencionado que el mecanismo de acción de los sustitutos de grasa, depende, por lo menos en alguna extensión, del principio de incompatibilidad termodinámica. En sistemas que contienen mezclas de polímeros, pueden existir interacciones moleculares desfavorables, de carácter endotérmico, que dan lugar a una exclusión mutua de los polímeros; se dice entonces que existe incompatibilidad termodinámica. Este comportamiento es atribuido a la presencia de cargas semejantes en las moléculas o a diferencias muy marcadas en sus

polaridades. Por el contrario, si el proceso de mezclado es exotérmico, las interacciones entre polímeros serán de atracción, energéticamente favorables y conducirán a la formación de complejos solubles y/o insolubles, este tipo de interacción se presenta entre polímeros de cargas eléctricas opuestas. Los sistemas líquidos de dos fases, conteniendo cada una de ellas un polímero, pueden ser fácilmente gelificados para la obtención de diversos productos, cuyas características dependen de la diferencia en densidad y viscosidad de las fases continua y dispersa, condiciones de mezclado, tensión interfacial y tiempo anterior a la gelificación. En el caso de texturización, usando interacciones favorecidas, quizás el área que ha recibido más atención es la formación de complejos proteína-polisacárido; por ejemplo la interacción entre la kappa-caseína y la kappa-carragenina, que ha sido usada para la elaboración de algunos postres lácteos (Ledward, 1993).

Los sustitutos de grasa que se han sugerido para queso pueden ser agrupados en dos categorías: a) materiales microparticulados basados en proteína y b) materiales microparticulados basados en carbohidratos. Las proteínas de suero lácteo microparticuladas por calor y acción mecánica, son los únicos sustitutos de base proteínica que han sido propuestos para usarse en queso. En comparación, una variedad de carbohidratos se han utilizado para elaborar sustitutos de grasa, incluyendo almidón, pectina y celulosa, a menudo en combinación con gomas procedentes de plantas o de bacterias, como gomas guar y xantana (McMahon y col., 1996).

2.5.1 Proteína microparticulada (PMP). Las proteínas de huevo, leche y suero lácteo son las que a menudo se someten a microparticulación. Este proceso consiste en la

coagulación térmica de la proteína hasta la formación de una estructura de gel, posteriormente sometida a esfuerzos cortantes elevados para obtener partículas esféricas de 0.1-2 μm de diámetro. El tamaño tan pequeño de estas partículas produce que la lengua las perciba como un fluido suave y cremoso, más que como partículas individuales (Anónimo, 1990; Lucca y Tepper, 1994). Las micropartículas de proteína hidratada forman una fase dispersa en el alimento, que suaviza la red de proteína de la misma forma que lo hacen los glóbulos de grasa emulsificados. La PMP también distribuye uniformemente el agua enlazada a través de la matriz del producto (Lucca y Tepper, 1994).

El carácter hidrofóbico de las proteínas desnaturalizadas, aumenta su habilidad para emular la grasa emulsificada a través de interacciones con ingredientes del sabor (Clark, 1994). La PMP tiende a recubrir la boca en forma similar a la grasa y esta acción permite que los sabores alcancen lenta y gradualmente los receptores, al mismo tiempo que ayuda a enmascarar algunos de los sabores amargos y astringentes pronunciados en los alimentos reducidos en grasa (Lucca y Tepper, 1994).

Nutritionalmente, la PMP es digerida y absorbida como proteína, por lo que está clasificada como GRAS (generally recognized safe) por la FDA (Food and Drug Administration) (Lucca y Tepper, 1994). Una de las limitaciones de su uso radica en su inestabilidad a temperaturas elevadas; el calor provoca coagulación de la proteína y pérdida de su sensación bucal semejante a la de la grasa (Anónimo, 1990). En la tabla 3, se pueden observar algunas de las características de Simplese, sustituto de este tipo.

Durante el proceso de preparación de Simplese, la proteína de suero de leche es homogeneizada y calentada simultáneamente a temperaturas de pasteurización. La operación regula la tendencia natural de la proteína a coagular y por tanto a formar grandes partículas; en su lugar, se forman pequeñas partículas de proteína de forma esférica y diámetro promedio de $1\mu\text{m}$. Simplese imparte sabor, apariencia y textura cremosa a aquellos alimentos en los que se incorpora. Desde el punto de vista nutricional, este sustituto resulta excelente, ya que reemplaza parte de la grasa del alimento por proteína (tabla 4) (Medina, 1995).

Al ser Simplese un derivado lácteo, resulta el sustituto de grasa ideal para helados, quesos, yogurt, cremas ácidas y mantequilla suave; productos en los que enmascara sabores extraños y redondea el correspondiente al producto final.

El uso de Simplese no requiere de técnicas especiales, además soporta sin problemas los procesos normales de pasteurización, esterilización y ultrapasteurización. Sin embargo, no debe incorporarse a alimentos que serán sometidos a freído.

Cuando Simplese se hidrata, se obtiene un ingrediente que cuenta con sólo 1.5 calorías por gramo, lo que permite su incorporación en la elaboración de alimentos con una reducción significativa de grasa y una disminución de 50 a 80% de calorías (Medina, 1995).

2.5.2 Concentrados de proteína de lactosuero. Contienen por lo menos 50% de una mezcla de proteínas, entre las que destacan las lactoalbúminas y las lactoglobulinas, formadas

Tabla 3. Características de algunos sustitutos de grasa recomendados para queso.

Sustituto de grasa	Base química	Componentes	Densidad energética (kcal/g)	Uso en alimentos	Atributos impartidos
Simplese ^a	Proteínica	Proteína de huevo y leche	3.8	yogurt, crema ácida, helados, quesos, mantequillas, aderezos ensaladas, mayonesa, postres congelados	cremosidad, suavidad, retención de agua, sensación bucal
Slendid ^b	Sacárida	Pectina	4	aderezos, sopas, salsas, productos de panadería, postres congelados, quesos y sus productos análogos	suavidad, cremosidad, sensación bucal
Dairy-lo ^c	Proteínica	proteína de lactosuero	4	yogurt, crema ácida, postres lácteos congelados y queso procesado	textura suave, retención de agua, cremosidad, estabilidad de emulsión

^aNutra Sweet Co., ^bQuímica Hércules, ^cCultor Food Science.

Fuente: Pfizer (1993), Lucca y Tepper (1994), Química Hércules (1994).

Tabla 4. Características químicas de Simplese

Componente	en 100 g
agua (g)	3.9
proteína (g)	50.5
grasa (g)	4.2
ceniza (g)	5.5
calorías (kcal)	380
carbohidratos (g)	36.6
colesterol (mg)	137
calcio (mg)	675
hierro (mg)	0.94
niacina (mg)	0.18
potasio (mg)	1207
riboflavina (mg)	1.18
sodio (mg)	589
tiamina (mg)	0.27
vitamina A (mg)	100
vitamina C (mg)	150

Fuente: NutraSweet Company (1992).

por cadenas largas de aminoácidos plegadas en estructuras tridimensionales, que mantienen los grupos no polares de los aminoácidos en el interior hidrofóbico de la proteína y los grupos polares en el exterior hidrofílico; la estructura es mantenida a través de numerosos enlaces no covalentes débiles y en el caso de la β -lactoglobulina mediante algunos enlaces disulfuro (Steventon y col., 1991). Cuando estos sustitutos son sometidos a valores de pH entre 3 y 5, y temperaturas de 60-90 °C, se produce desdoblamiento parcial de las moléculas de proteína y se favorece su asociación y agregación con otras moléculas (Lucca y Tepper, 1994). Al desdoblarse parcialmente la estructura de la proteína, los grupos no polares quedan expuestos hacia el exterior, así como los grupos sulfhidrilo de la β -lactoglobulina. La agregación que sigue al proceso de desnaturalización, involucra la formación de polímeros de moléculas de proteína, a través de dos tipos de enlaces: a) escasos enlaces covalentes, tales como los disulfuro originados durante la agregación de moléculas de β -lactoglobulina y b) numerosas interacciones no covalentes, como van der Waals, iónicas y enlaces de hidrógeno (Steventon y col., 1991; Morr, 1992; Kneifel y Seiler, 1993; Lucca y Tepper, 1994).

La concentración, pH y temperatura aplicados, determinan la asociación molecular de la proteína en agregados pequeños solubles o en estructura de gel. Los primeros incrementan la viscosidad de un alimento, le añaden cuerpo o textura y los segundos, además de aumentar la capacidad ligante de agua en el producto, exhiben estructuras suaves y elásticas. La presencia de otras proteínas puede reforzar la estructura del gel; por el contrario, la presencia de sales de sodio y calcio la debilitan (Morr, 1992; Lucca y Tepper, 1994).

El carácter amfifílico de las proteínas del lactosuero les confiere solubilidad en agua, actividad surfactante, capacidad para estabilizar emulsiones y habilidad para formar espumas. Son clasificados como productos GRAS, por ser digeridos y absorbidos como proteína (Lucca y Tepper, 1994). Dairy-lo, constituye un ejemplo de estos productos.

Dairy-lo es preparado a partir de suero lácteo dulce, el cual es sometido a ultrafiltración y desnaturalización térmica controlada, para incrementar el carácter amfifílico de la proteína a través de la apertura de la molécula y exposición de sus regiones hidrofobas e hidrofílicas, y para fomentar las interacciones proteína-proteína mediante el intercambio de los enlaces sulfhidrilo y disulfuro. El carácter amfifílico adquirido por la proteína incrementa: a) su capacidad emulsificante, que repercute en una mayor interacción interfacial y aumento en la estabilidad de la emulsión y b) su capacidad ligante de agua, que ayuda a evitar la sinéresis, al controlar la migración de suero (Pfizer, 1993).

Dairy-lo tiene la capacidad de autopolimerizarse o de interactuar con otras proteínas lácteas, a través de puentes disulfuro; por ejemplo, con la κ -caseína de la superficie de las micelas de caseína. La autoagregación y la apertura controladas de la proteína de Dairy-lo, incrementan sus propiedad de "control de agua", y este fenómeno mejora la textura de los alimentos bajos en grasa. La desnaturalización controlada del suero lácteo, tiene también como efecto, el de limitar la "gelación"; de esta forma se pueden obtener productos de textura suave, no arenosa y se realza la cremosidad de un producto bajo en grasa (tabla 3).

Los productos elaborados con Dairy-lo exhiben un aumento moderado en la viscosidad de la mezcla. Dicho aumento no interfiere con el proceso y consecuentemente, pueden utilizarse velocidades de línea normales.

En los productos lácteos cultivados, Dairy-lo añade al sabor un tono lácteo, que proporciona un mejor gusto.

Por ser un concentrado proteínico del suero lácteo, Dairy-lo es fuente de proteína de alta calidad (tabla 5), y puede utilizarse en todos los productos donde las normas no excluyan el uso de este tipo de ingredientes. Dairy-lo aporta un valor calórico de aproximadamente cuatro calorías por gramo (tabla 3).

2.5.3 Pectinas. Este tipo de ingredientes son considerados como miméticos y están clasificados como productos GRAS.

El control del agua es un elemento común de los sustitutos de grasa para proporcionar la funcionalidad de la grasa perdida y es en este sentido que los de base sacárida son los que estabilizan las mayores cantidades de agua en un alimento, a través de la formación de una matriz semejante a la de un gel (Clark, 1994; Singhal y col., 1991). Dicha estructura posee propiedades lubricantes y de flujo similares a las de las grasas e incrementa la viscosidad y cuerpo de los alimentos (Sanderson 1981). No obstante, es importante señalar que los polisacáridos que desarrollan estructuras de gel altamente estructuradas, no promueven cremosidad en el alimento, debido a que sus unidades no pueden moverse

independientemente. Los ingredientes que contribuyen a la viscosidad, pero que no crean una fase dispersa distinta, no pueden duplicar la sensación bucal de la grasa; lo anterior se puede solucionar mediante la aplicación de un proceso específico para formar partículas independientes (Clark, 1994).

En algunos casos los sustitutos de base sacárida pueden ser usados como agentes estabilizantes y emulsificantes (Sanderson, 1981).

Una de las desventajas de los sustitutos de base sacárida es la de no poder ser utilizados como medios de freído y otra, la de reducir la vida de anaquel de los alimentos a los que se incorporan, como resultado de su elevada capacidad ligante de agua (Lucca y Tepper, 1994).

Las pectinas funcionan como gelificantes, espesantes y en algunos casos como miméticos de grasa. Slendid 200 (tabla 3), es una pectina de bajo metoxilo (grado de metilación menor al 50%), extraída a partir de materiales apropiados de frutas cítricas y manzanas, y estandarizada mediante la adición de sacarosa.

Slendid es capaz de ligar una cantidad de agua destilada, equivalente a 50 veces su peso (tabla 6). Este sustituto al estar en contacto con agua se hincha más que disolverse e instantáneamente forma partículas suaves y flexibles de un tamaño medio mayor a 200 μ m. Dichas partículas se rompen en otras más pequeñas durante el procesamiento de los alimentos. La grasa en un alimento se encuentra en forma de pequeñas partículas, cuyo tamaño depende

Tabla 5. Características químicas de Dairy-lo

Componente	(en 100g)
Proteína	35
(α -lactoglobulina, β -lactoalbúmina, proteínas menores)	
grasa	trazas
carbohidratos	3.5
lactosa	52
humedad	6
cenizas	9

Fuente: Pfizer (1993).

Tabla 6. Características de Slendid 200

propiedades funcionales	simulador de grasa, ligante de agua, texturizante
comportamiento en agua blanda, 25 °C	hinchamiento instantáneo por retención de agua
niveles de uso en alimentos	0.2-1.0%
estabilidad bajo condiciones de procesamiento de alimentos	al calor (pasterización), al pH, a la concentración de sal, al corte.

Fuente: Química Hércules (1994).

del producto y de las condiciones de proceso aplicadas. Cuando se incorpora Slendid como reemplazante de grasa, el gel que forma es fragmentado en partículas, cuyos tamaños se encuentran en el rango exhibido por las correspondientes a la grasa, esto permite simular las características físicas y organolépticas de los glóbulos de grasa (Química Hércules, 1994).

El gel formado por Slendid contiene alrededor de 95% de agua. Así la grasa fundamentalmente es sustituida por agua. Este sustituto actúa en la estructuración interna del producto y de esta manera proporciona un excelente fundido al queso, similar al del producto completo en grasa. Slendid imparte suavidad, cremosidad y sensación bucal, a los alimentos bajos en grasa, semejantes a las conferidas por la grasa (Lucca y Tepper, 1994).

Slendid es estable al calor, resiste procesos como esterilización, pasterización, cocción y calentamiento por microondas. Su funcionamiento tampoco se altera por la presencia de sal o el pH del medio, en un rango de 2 a 8, así como por operaciones de corte, incluyendo la homogeneización (tabla 6). La pectina de este sustituto presenta sabor neutro, por lo que es una base excelente para regular sabores delicados. Su manejo no requiere de equipo o procesos especiales.

La incorporación de Slendid, en una proporción en peso de poco menos del 1% del producto final, permite sustituir la grasa hasta en un 100%, en una amplia variedad de productos, incluyendo quesos procesados, helados, yogurt y muchos otros (Química Hércules, 1994).

2.6 Efectos del uso de sustitutos de grasa sobre la microestructura y textura de quesos reducidos en grasa.

Pagliarini y Beatrice (1994), elaboraron queso Mozzarella bajo en grasa añadiendo inulina (fibra vegetal) y compararon sus propiedades sensoriales y reológicas con las de un queso completo en grasa. Este último, contuvo mayor cantidad de materia seca, pero menor proteína, que los elaborados con menos grasa sin y con sustituto. El rendimiento fue menor en los quesos bajos en grasa, en un 15% aproximadamente. Al reducir la grasa en los quesos, sin la incorporación de sustituto, se observó incrementos en la energía de compresión y la máxima resistencia a estiramiento; mientras que después de la adición de inulina, ambos valores no fueron significativamente diferentes de aquellos obtenidos para el queso de contenido graso normal. El queso con sustituto de grasa fue preferido sobre aquél sin sustituto. La inulina influyó en una menor lisura y dureza, pero mayor blancura, brillo y acuosidad en el queso que la contuvo. Estos autores concluyeron que la adición de sustituto de grasa, mejoró las cualidades sensoriales del queso, haciéndolo similar al producto tradicional.

McMahon y col. (1996), encontraron cambios en la matriz de proteína de queso Mozzarella, atribuidos a la incorporación de los sustitutos de grasa: Stellar (almidón modificado de maíz), Novagel RCN-15 (celulosa microcristalina-goma guar), Slendid y Simplese. Stellar no incrementó la apertura de la estructura del queso, comparada con la del queso completo en grasa, y se observó en forma de pequeñas partículas esféricas (0.2-0.5 μm) embebidas en la matriz de proteína. La adición de Novagel al queso Mozzarella bajo en

grasa, aumentó la apertura de la matriz proteínica del queso, debido a las cavidades o canales de suero (30-300 μm) que las partículas grandes y amorfas de sustituto (10-100 μm) causaron en ésta. Las micropartículas de Simplese fueron esféricas y demasiado pequeñas (0.1-2 μm) para influir en el tamaño de los canales de suero y por tanto en la apertura de la estructura del queso Mozzarella bajo en grasa; además las proteínas de este sustituto fueron susceptibles a las enzimas bacterianas y pudieron actuar como una fuente de nitrógeno adicional. El uso de Dairy-lo no proporcionó mayor holgura a la matriz de proteína del queso y su identificación fue problemática, aún a altos aumentos, ya que cualquier material no particulado entremezclado con las proteínas del queso, sería indistinguible debido al nivel de resolución del microscopio electrónico de barrido y a la cubierta de metal aplicada a la muestra; únicamente se observaron aglomeraciones (5-10 μm) de material, supuestamente formado por Dairy-lo en los canales de suero y sobre la superficie de fractura de la muestra.

McMahon y col. (1996), informaron que a) la posible unión entre la β -lactoglobulina de Dairy-lo con la κ -caseína de la leche, pudo haber reducido la sinéresis de la cuajada, c) la capacidad ligante de los sustitutos y/o su interferencia en la retracción de la matriz de proteína, esta última en función del tamaño de sus partículas, provocaron aumentos en la retención de humedad en los quesos, d) partículas de sustituto grandes previnieron la fusión de las fibras de caseína durante el estiramiento del queso y originaron la formación de nuevos canales de suero adyacentes a dichas partículas, aumentando la apertura de la matriz de proteína e incrementando la humedad en el queso y e) la apertura de la microestructura del queso produjo quesos suaves y flexibles.

Drake y col. (1996a), estudiaron la microestructura y textura de quesos Cheddar, como resultado de la incorporación de sustitutos constituidos principalmente por proteína de lactosuero: Dairy-lo (35% de proteína y 52% de lactosa) y ALACO PALS (81% de proteína y 7.9% de lactosa), y de un sustituto de base sacárida: Novagel (celulosa microcristalina, goma guar y carragenina). Los quesos que contuvieron Dairy-lo y ALACO PALS presentaron respectivamente 0.2-0.4% más proteína que el queso completo en grasa. Por su parte el queso elaborado con Novagel exhibió la humedad más alta. Los quesos reducidos en grasa mostraron menos espacios de grasa y extensiones más grandes de matriz de proteína ininterrumpida. Los quesos en los que se incorporaron los sustitutos de grasa presentaron una matriz de mayor lisura y una red más finamente dispersa, comparada a la del queso bajo en grasa sin sustitutos. Novagel produjo el queso con valores de dureza instrumental y firmeza sensorial más elevados, seguido por ALACO PALS y Dairy-lo. La dureza del queso completo en grasa, menor que la del producto con Novagel, fue similar a la obtenida con Dairy-lo y ALACO PALS. Los sustitutos empleados redujeron la consistencia, semejante a la de caucho, de los quesos en los que se disminuyó el 60% de su grasa.

2.7 Métodos de determinación de textura.

Las propiedades de textura de un alimento están relacionadas a la deformación, desintegración y flujo de éste bajo una fuerza externa, por ejemplo, la masticación. La determinación de la textura de los alimentos puede realizarse mediante evaluación sensorial y métodos instrumentales. La importancia de la evaluación sensorial radica en su relación

directa con la actitud de los consumidores; sin embargo, requiere de tiempo considerable y es de costo elevado (Porkorný y col., 1984). Por el contrario, la determinación instrumental de las propiedades reológicas de los alimentos, de carácter objetivo, no considera la respuesta de los consumidores. Lo anterior ha despertado un gran interés en el desarrollo de métodos instrumentales, que permitan la obtención de resultados que puedan ser correlacionados satisfactoriamente con los obtenidos mediante evaluación sensorial (Tunick y Nolan, 1992).

El análisis de perfil de textura (APT) (Szczesniak, 1963; Bourne, 1982), es un método empírico que ha sido ampliamente usado en la determinación de la textura del queso, debido a que las características de dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y elasticidad, calculadas a partir de las curvas fuerza-distancia obtenidas, han mostrado correlación importante con los atributos sensoriales de textura. Se ha mencionado que la aplicación de grandes esfuerzos y deformaciones sobre el alimento, le ocasionan cambios estructurales irreversibles, semejantes a los que sufre durante la evaluación sensorial (Tunick y col., 1990; Stampanoni y Noble, 1991; Shoemaker y col., 1992; Bryant y col., 1995). Entre los equipos usados para la determinación del perfil de textura de los alimentos, se encuentra el texturómetro, que permite, a través de la aplicación de una fuerza compresional uniaxial sobre la muestra, la obtención de las características texturales antes mencionadas (Szczesniak, 1963).

III. JUSTIFICACIÓN

A pesar de que existen en el mercado una variedad de productos que incorporan distintos tipos de grasas y/o sustitutos de grasa, el uso de éstos se ha dado de forma empírica, sin realmente tener conocimiento de cómo afectan las propiedades estructurales de los productos, y la relación de estas últimas con sus características texturales.

Con esto en mente, en el presente trabajo se pretende establecer una metodología conducente a proporcionarnos información acerca de la funcionalidad de diferentes grasas y sustitutos de grasa, en análogos de queso y su efecto en la estructura interna de los mismos.

IV. OBJETIVO GENERAL

Estudiar los efectos que distintos tipos de grasas y sustitutos de grasa ejercen sobre las características texturales instrumentales de un prototipo de análogo de queso, en función de interacciones moleculares entre sus componentes, que definen su estructura interna y características sensoriales.

V. HIPÓTESIS

El uso de diversos tipos de grasas y de sustitutos de grasa en los análogos de queso, provocará el desarrollo de distintos arreglos estructurales, algunos de los cuales exhibirán características mecánicas similares a las del análogo elaborado con grasa butírica y a las del análogo de contenido graso completo.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Efectos del tipo de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.

6.1.1 Formulaciones. La fracción no grasa (74.5%) de los análogos de queso (1 kg), estuvo constituida por 154.2 g de caseinato de sodio (Kerry Ingredients Inc.), 65 g de caseinato de calcio (Kerry Ingredients Inc.), 7.76 g de ácido láctico (J.T. Baker), 5.6 g de citrato de sodio (J.T. Baker), 1.5 g de sorbato de potasio (Merck), 7.2 g de cloruro de sodio (comercial), 3.4 g de saborizante (Industrias Cuamex, S.A. de C.V.), 0.34 g colorante vegetal de achiote (*Annato bixina*) (Industrias Cuamex, S.A. de C.V.) y 500 g de agua.

La fracción grasa (25.5%), se modificó de acuerdo a un diseño experimental de mezclas de tres componentes (Lynne, 1974): grasa butírica (b), grasa de soya (s) y aceite de

soya (a) (Industrial Aceitera, S.A. de C.V.), mediante la aplicación de un modelo cuadrático. Las 10 formulaciones resultantes se muestran en la tabla 7, así como su contenido teórico en colesterol (mg/kg queso).

El proveedor de las grasas proporcionó la composición media de los tres productos grasos usados: *grasa de soya*, punto de fusión 36-38 °C y sus ácidos grasos más importantes son palmítico (12.5%), esteárico (6.0%), oleico (52.4%), linoleico y linolénico (25%); *aceite de soya*, líquido a temperatura ambiente, cuyos contenidos en ácidos grasos son palmítico (10.5%), esteárico (3.2%), oleico (22.3%), linoleico (54.5%) y linolénico (8.3%); y *grasa butírica* con punto de fusión de 32-34 °C, presentando los siguientes ácidos grasos: butírico (3.5%), caproico (1.4%), caprílico (1.5%), cáprico (2.6%), laúrico (4.5%), mirístico (14.6%), palmítico (30.2%), esteárico (10.5%), palmitoleico (5.7%), oleico (18.7%) y linoleico (2.1%).

Los siguientes parámetros fueron determinados a los análogos, al final del periodo de almacenamiento: humedad por el método de estufa, proteína por el método de Kjeldahl, grasa por el método de Gerber y pH en macerados de agua (AOAC, 1980).

6.1.2 Preparación de los análogos de queso. Se prepararon lotes de tres kg de cada formulación, por triplicado. Inicialmente, el citrato de sodio, sorbato de potasio y la sal común, fueron disueltos en agua a temperatura ambiente en un equipo Kitchen aid (Kitchen aid Corp.) a velocidad baja. Los caseinatos de sodio y calcio se añadieron a la mezcla acuosa de sales con agitación continua hasta la formación de una masa hidratada homogénea. Esta

Tabla 7. Formulaciones de análogos de queso, tipo de grasa y contenido en colesterol

Formulación de análogo	Relación de grasa butírica (b)	Relación de grasa de soya (s)	Relación de aceite de soya (a)	Contenido teórico en colesterol (mg/kg)*
b	1	0	0	959.72
s	0	1	0	16.20
a	0	0	1	16.20
0.5 b-0.5s	0.5	0.5	0	487.95
0.5b-0.5a	0.5	0	0.5	487.95
0.5s-0.5a	0	0.5	0.5	16.20
0.3b-0.3s-0.3a	0.33	0.33	0.33	327.55
0.6b-0.2s-0.2a	0.66	0.17	0.17	638.91
0.2b-0.6s-0.2a	0.17	0.66	0.17	176.60
0.2b-0.2s-0.6a	0.17	0.17	0.66	176.60

*al considerar 0.2% de grasa en los caseinatos de sodio y calcio y un valor medio de 3.7 mg colesterol/g de grasa butírica (Santos, 1987).

última se calentó a 54.0 ± 0.5 °C. Por separado, la fracción grasa se mezcló en un vaso de precipitados de 500 ml mediante un agitador magnético y se calentó a 54.0 ± 0.5 °C. A dicha temperatura, la fracción grasa se adicionó a la masa hidratada con agitación continua a velocidad media y se calentó hasta alcanzar 76 ± 0.5 °C. En este punto, se incorporaron el saborizante, el colorante y el agente acidulante.

El mezclado y el calentamiento se continuaron hasta lograr una temperatura de 88 ± 1 °C, la cual se mantuvo durante 10 min. La pasta obtenida fue colocada en moldes de acero inoxidable de 1 kg de capacidad, cuyas superficies interiores fueron cubiertas con una película de polietileno. Los moldes se introdujeron en un refrigerador a 4 ± 0.5 °C por 24 h. Posteriormente, los análogos de queso se sacaron de los moldes y se almacenaron bajo refrigeración durante 15 días, antes de proceder con su caracterización textural.

6.1.3 Evaluación sensorial de textura. Se llevó a cabo mediante una prueba cuantitativa de ordenamiento, *Ranking Test* (O'Mahony, 1986). El panel de seis jueces, tuvo un entrenamiento de seis meses (102 h), en los métodos de diferenciación y descriptivos; las técnicas utilizadas fueron las de índices R (O' Mahony, 1983) y Análisis Cuantitativo Descriptivo (Stone y col., 1974).

Los descriptores propuestos mediante 4 sesiones, fueron: firmeza (fuerza de corte con los molares), elasticidad (capacidad del alimento para recuperar su forma original después de una deformación menor a la del corte), resistencia al corte (fuerza necesaria para provocar el corte mediante un cuchillo), masticabilidad (número de masticaciones necesarias antes de

deglutir la muestra) (Pangborn y Eymery, 1988). Adicionalmente, se evaluaron tacto bucal (estímulos bucales durante todo el proceso de masticación, incluyendo adhesividad y cohesividad) y cremosidad (tersura después de la masticación).

Los análogos permanecieron 4 h a temperatura ambiente (20 ± 2 °C), antes de su análisis sensorial. Del centro de cada análogo se tomaron muestras cilíndricas (1 cm de diámetro por 1 cm de altura), las que se proporcionaron a los jueces en series de 6, codificadas y en orden aleatorio, por triplicado. El panel ordenó las muestras de menor a mayor intensidad, de acuerdo a la característica a evaluar.

Se obtuvieron los índices R (Brown, 1974), que representan la probabilidad de que el panel detecte diferencia entre dos o más muestras, de acuerdo a una característica específica; siempre comparada con un análogo de referencia, en este caso el formulado con grasa butírica.

6.1.4 Determinación instrumental de textura. Las características mecánicas de textura (Szczesniak, 1963), fueron medidas con un texturómetro modelo TA-XT2 (Texture Technologies Corp., White Plains, NY) usando el Análisis Instrumental de Perfil de Textura (APT) (Bourne, 1982). La compresión aplicada a las muestras, mantenidas a temperatura ambiente (20 ± 2 °C), fue del 80% en los dos ciclos y la velocidad del cabezal de 250 mm/min. Las muestras se prepararon de igual manera que en la evaluación sensorial, en relación a geometría y tamaño. Cada una de las determinaciones se hizo por triplicado.

Las características mecánicas primarias de dureza, elasticidad, adhesividad y cohesividad se obtuvieron de los dos ciclos de compresión uniaxial sucesivos del APT. También la característica secundaria de masticabilidad se seleccionó, debido a que los análogos de queso fueron elásticos (Szczesniak, 1995).

6.1.5 Análisis de Microestructura. Se tomaron del centro de cada análogo, muestras cilíndricas de 1 cm de diámetro por 0.5 cm de altura, las que se fijaron en solución de glutaraldehído al 2% (buffer de fosfato 0.1 M, pH 7.2) por 6 h. Las muestras se deshidrataron mediante inmersión progresiva en disoluciones acuosas de etanol (50, 60, 70, 80, 90 y 100 %) por 30 min en cada una (Rayan y col., 1980) y en acetona por 1 h (Kimura y Taneya, 1974). La altura de las muestras deshidratadas se redujo manualmente a aproximadamente 0.3 cm, entonces fueron secadas a punto crítico en un CPA II Technics Critical Point Dryer (Tousimis, Rockville, MD) y cubiertas con una fina capa de oro en un Fine Coat Ion Sputter JFC 1100 (Jeol Ltd., Akishima, Japón). Un microscopio electrónico de alto vacío JEOL Scanning Electron Microscope JMS-35 (Jeol Ltd., Akishima, Japón), a 20 KV, fue usado para el análisis de cada muestra.

6.1.6 Análisis de datos. Se aplicaron análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), a los valores de las características texturales sensoriales e instrumentales de los análogos de queso. El uso de la Metodología de Superficies de Respuesta (MSR) en el análisis de los resultados sensoriales e instrumentales de textura, permitió la obtención de modelos polinomiales que muestran la influencia de cada tipo de grasa solo y en combinación con los otros, sobre las características texturales de los análogos. El concepto de superficie de

respuesta fue usado para representar gráficamente los distintos modelos. Asimismo, se realizaron análisis gráficos de residuos de los modelos encontrados (prueba de normalidad, valor observado vs valor estimado y error vs valor estimado). Los datos obtenidos a través de la evaluación sensorial, fueron sometidos a una prueba t-student para verificar si el valor promedio de índice R era significativamente diferente a 50 (valor del análogo de referencia). Los datos sensoriales e instrumentales de textura se sometieron a un análisis de Componentes Principales (ACP). La relación entre las características texturales sensoriales e instrumentales se estudió mediante el procedimiento de Correlaciones Canónicas. Para el análisis de datos se usó el paquete estadístico Statgraphics 7 (Statistical Graphics Corp. Manugistics, Inc., Cambridge, MA).

6.2 Efectos de sustitutos de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.

6.2.1 Formulaciones preliminares. En la realización de esta fase experimental se usaron como sustitutos de grasa: Simplese (NutraSweet de México, S.A. de C.V.), Dairy-lo (Cultor Food Science, S.A. de C.V.) y Slendid 200 (Copenhagen Pectin A/S, División Química Hércules, S.A. de C.V.).

La fracción no grasa (74.5%) de los análogos de queso (1 kg), estuvo constituida por los componentes señalados en 6.1.1. La fracción grasa (25.5%), se integró con una combinación de grasa de soya y aceite de soya (50:50).

El estudio preliminar de los sustitutos de grasa, comprendió la elaboración de formulaciones de análogos de queso, que variaron en sus contenidos de sustituto de grasa (0-4%), grasa (9.9-25.5%) y humedad (45.6-64.8%). Al considerar la fracción sustituto-grasa-humedad, como un total que debe sumar 1, los rangos de los componentes quedaron de la siguiente forma: sustituto de grasa (0-0.056), grasa (0.14-0.36) y humedad (0.58-0.83). Las formulaciones a estudiar (tabla 8), se establecieron de acuerdo a un diseño experimental de mezclas de tres componentes con límites restringidos (Lynne, 1974).

6.2.2 Preparación de los análogos de queso. Cada formulación se elaboró por triplicado, mediante el proceso descrito en 6.1.2, con las siguientes variantes: a) el equipo usado en este caso fue un Stephan mixer (Stephan Machine Corp., Columbus, OH), para lograr un mejor control de las condiciones aplicadas y b) los sustitutos de grasa se adicionaron en forma conjunta con las sales al inicio del proceso.

6.2.3 Determinación instrumental de textura. Las mismas características mecánicas de textura, determinadas en 6.1.4, fueron medidas en los análogos formulados con los tres tipos de sustitutos de grasa, en una máquina universal Q-test 1 (Syntech Corp., N.C.), usando el Análisis Instrumental de Perfil de Textura (APT) (Bourne, 1982). La compresión aplicada a las muestras, mantenidas a temperatura ambiente (20 ± 2 °C), fue del 50% en los dos ciclos y la velocidad del cabezal de 250 mm/min. Las muestras se prepararon de igual manera a la descrita en 6.1.3. Cada una de las determinaciones se hizo por triplicado.

Tabla 8. Formulaciones de análogos de queso para el estudio preliminar de Simplese, Dairy-lo y Slendid.

Código de la formulación	Relación de sustituto de grasa	Relación de grasa	Relación de humedad
1	0.0	0.36	0.64
2	0.056	0.14	0.804
3	0.056	0.36	0.584
4	0.0	0.17	0.83
5	0.03	0.14	0.83
6	0.028	0.234	0.737

6.2.4 Análisis de datos. Los valores de las características texturales de las distintas formulaciones, se sometieron a análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), y mediante la Metodología de Superficies de Respuesta (MSR) se obtuvieron modelos polinomiales que las describieron. A partir de dichos modelos, se realizó la predicción de rangos más estrechos de sustituto, grasa y humedad a integrar en la formulación de análogos de queso, con la finalidad de que éstos mostraran características texturales más cercanas a las del análogo completo en grasa. Para el análisis de datos se usó el paquete estadístico Statgraphics 7 (Statistical Graphics Corp. Manugistics, Inc., Cambridge, MA).

6.2.5 Formulaciones finales. Se prepararon formulaciones de análogos de queso, que variaron en sus contenidos de sustituto de grasa (0-4%), grasa (14.2-25.5% para Slendid y 14.9-25.5% para Dairy-lo) y humedad (50-58.1% para Slendid y 50-57.3% para Dairy-lo). Las formulaciones a estudiar (tablas 9 y 10), se establecieron de acuerdo a un diseño experimental de mezclas de tres componentes con límites restringidos, considerando que la fracción sustituto-grasa-humedad debe sumar 1 (Lynne, 1974). Cada formulación se elaboró por triplicado, siguiendo el método descrito en 6.2.2.

Después del período de almacenamiento, a los análogos se les determinó su composición (6.1.1).

La determinación instrumental de textura de las distintas formulaciones se llevó a cabo como se indica en 6.2.3 y su microestructura fue estudiada usando la técnica de microscopía electrónica de barrido (6.1.5).

Tabla 9. Formulaciones de análogos de queso incorporados con Slendid.

Código de la formulación	Relación de sustituto de grasa	Relación de grasa	Relación de humedad
1	0.0	0.36	0.64
2	0.028	0.28	0.692
3	0.056	0.20	0.744
4	0.056	0.28	0.664
5	0.028	0.228	0.744
6	0.042	0.247	0.711

Tabla 10. Formulaciones de análogos de queso incorporados con Dairy-lo.

Código de la formulación	Relación de sustituto de grasa	Relación de grasa	Relación de humedad
1	0.0	0.36	0.64
2	0.028	0.29	0.682
3	0.056	0.21	0.734
4	0.056	0.29	0.654
5	0.028	0.238	0.734
6	0.042	0.257	0.701

6.2.6 Evaluación sensorial de textura. Se realizó mediante una prueba descriptiva usando una escala no-estructurada, en la que se señalaron los puntos extremos, mínimo y máximo, asociados a la intensidad de cada característica textural a evaluar; así como un punto medio, atribuido al análogo completo en grasa o de referencia (0.0 sustituto-0.36 grasa-0.64 humedad) (Amerine y col., 1965; Anzaldúa, 1994). El panel de diez jueces, tuvo un entrenamiento de un año (200 h), en los métodos de diferenciación y descriptivos.

Las características de textura evaluadas fueron: firmeza (fuerza de corte con los molares), elasticidad (capacidad del alimento para recuperar su forma original después de una deformación menor a la del corte), masticabilidad (número de masticaciones necesarias antes de deglutir la muestra) (Pangborn y Eymery, 1988), cohesividad (extensión de compresión de la muestra antes de romperse) (Bryant y col., 1995), adhesividad (fuerza requerida para remover la muestra, previamente masticada cinco veces con los molares, de la superficie de los labios) y recubrimiento bucal (sensación percibida en toda la cavidad bucal, en la fase residual de la masticación).

Las muestras se prepararon en forma similar a lo expresado en 6.1.3, y se proporcionaron a los jueces en series de cinco, codificadas y en orden aleatorio, por triplicado. El panel calificó las muestras de menor a mayor intensidad, de acuerdo a la característica a evaluar.

6.2.7 Análisis de datos. Se aplicó análisis de varianza a los valores de las características sensoriales e instrumentales de los análogos; y en el caso de las últimas,

también se realizaron pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$). A través de la Metodología de Superficies de Respuesta (MSR), se definieron los modelos polinomiales que señalaron la influencia de cada tipo de componente solo y en combinación con los otros, sobre las características texturales de los análogos. El concepto de diagrama de contorno fue usado para representar gráficamente los distintos modelos, y así poder determinar las formulaciones probables que proporcionaran ciertas magnitudes de las características texturales medidas. Asimismo, se realizaron análisis gráficos de residuos de los modelos encontrados (prueba de normalidad, valor observado vs valor estimado y error vs valor estimado). Los datos sensoriales e instrumentales de textura se sometieron a un análisis de Componentes Principales (ACP). La relación entre las características texturales sensoriales e instrumentales se estudió por el procedimiento de Correlaciones Canónicas. Para el análisis de datos se usó el paquete estadístico Statgraphics 7 (Statistical Graphics Corp. Manugistics, Inc., Cambridge, MA).

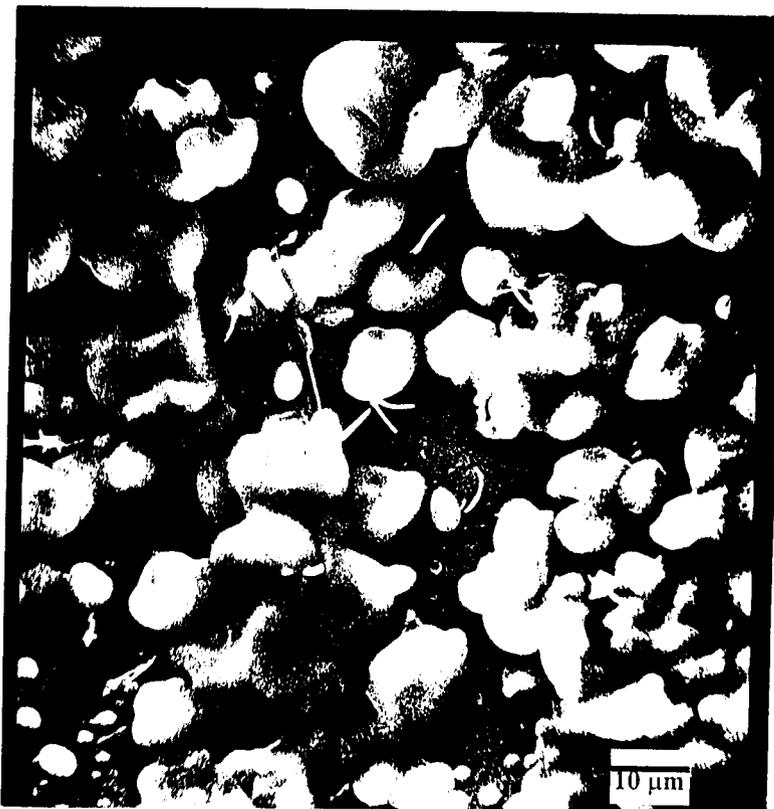
VII. RESULTADOS

7.1 Efectos del tipo de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso

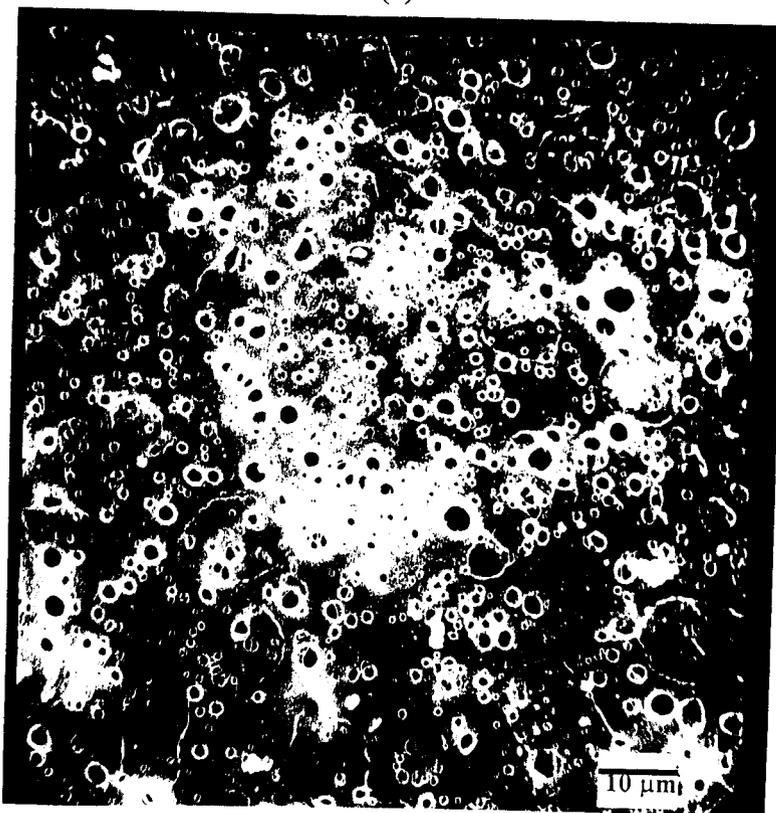
7.1.1 Características fisicoquímicas de los análogos de queso. La composición media de las formulaciones fue de 19.4% (± 0.8) de proteína, 48.48% (± 1.2) de humedad y 23.8% (± 0.5) de grasa, con un pH de 5.2 (± 0.1).

7.1.2 Microestructura de los análogos integrados con distintos tipos de grasas. Las micrografías mostraron que las partículas de los distintos tipos de grasa variaron en su morfología, tamaño y distribución. La grasa de soya formó agregados amorfos, caracterizados por masas de grasa de forma no definida, que en algunos casos presentaron proyecciones de filamentos de proteína, dando la impresión de aglomerados de grasa no fundida, recubiertos por proteína (figura 1(a)). El aceite de soya tendió a formar partículas de grasa más esféricas y de menor tamaño, presentando el mayor número de partículas de grasa individuales, rodeadas por una red proteínica finamente interconectada (figura 1(b)). En el análogo de queso preparado con grasa butírica, se observaron partículas de grasa de mayor tamaño que las encontradas en el análogo elaborado con aceite de soya, pero con una distribución de tamaño más homogénea y en forma de glóbulos de grasa cubiertos por moléculas de proteína (figura 2(a)).

Los análogos de queso que contuvieron mezclas de grasas, mostraron gran variabilidad tanto en el tamaño de las partículas de grasa, como en su distribución. El análogo de queso formulado con grasa de soya-aceite de soya (50:50), tuvo una estructura porosa, abierta con espacios ocupados por las partículas de grasa, cuya distribución en tamaño fue heterogénea (figura 2(b)). Los análogos de queso preparados con grasa butírica-aceite de soya (50:50) (figura 3(a)) y grasa butírica-grasa de soya (50:50) (figura 3(b)), mostraron aglomeraciones de partículas de grasa cubiertas por proteína, las cuales en el segundo análogo fueron amorfas y de mayor tamaño. Al combinar los tres tipos de grasas en distintas proporciones (figuras 4(a y b) y 5(a y b)), se observaron estructuras, que en general, presentaron una gran heterogeneidad

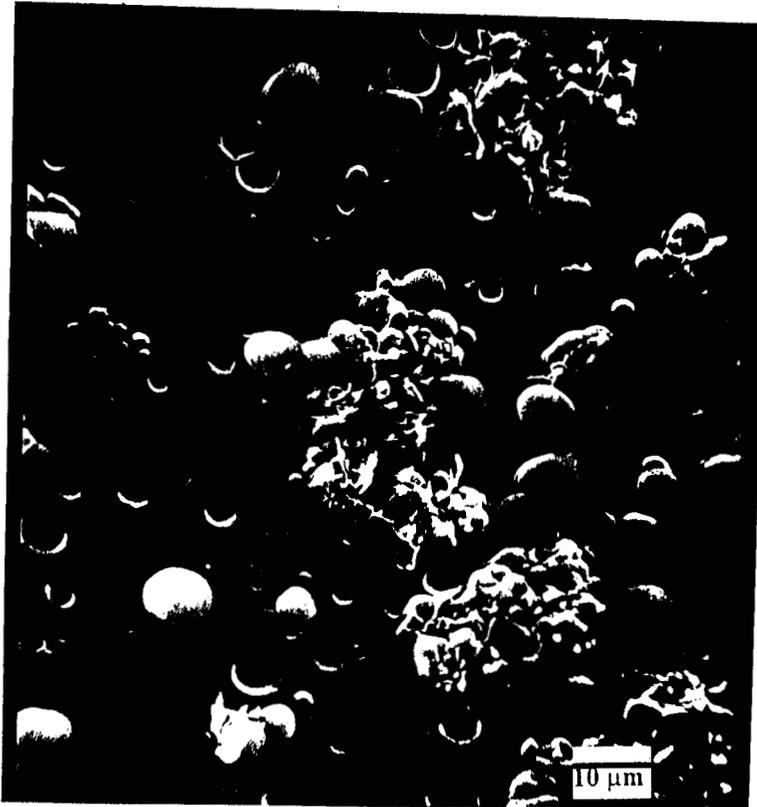


(a)

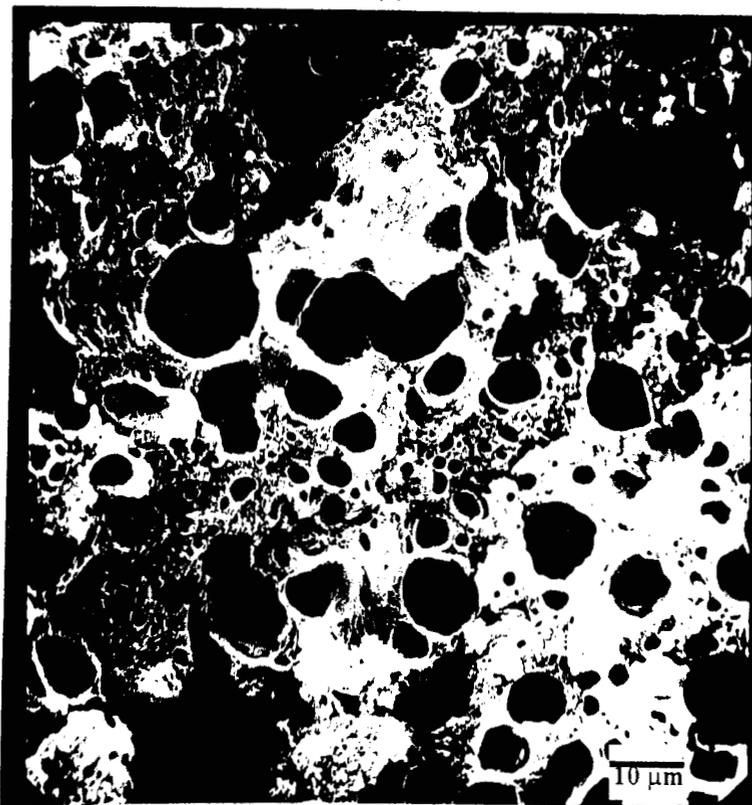


(b)

Figura 1. Micrografías de análogos de queso: (a) grasa de soya y (b) aceite de soya.



(a)



(b)

Figura 2. Micrografías de análogos de queso: (a) grasa butírica y (b) grasa de soya-aceite de soya (0.5-0.5).

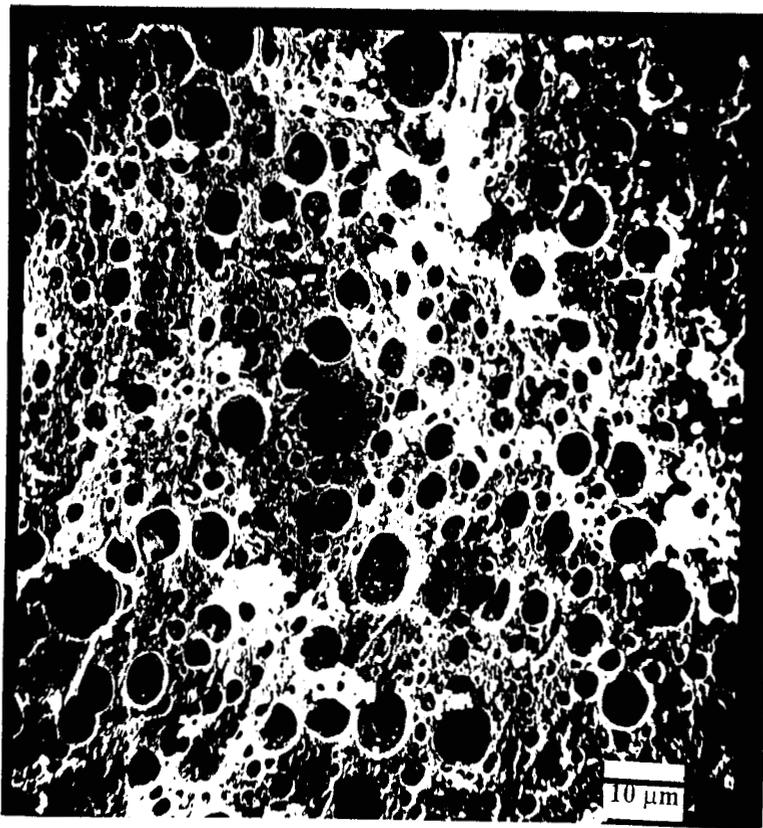


(a)

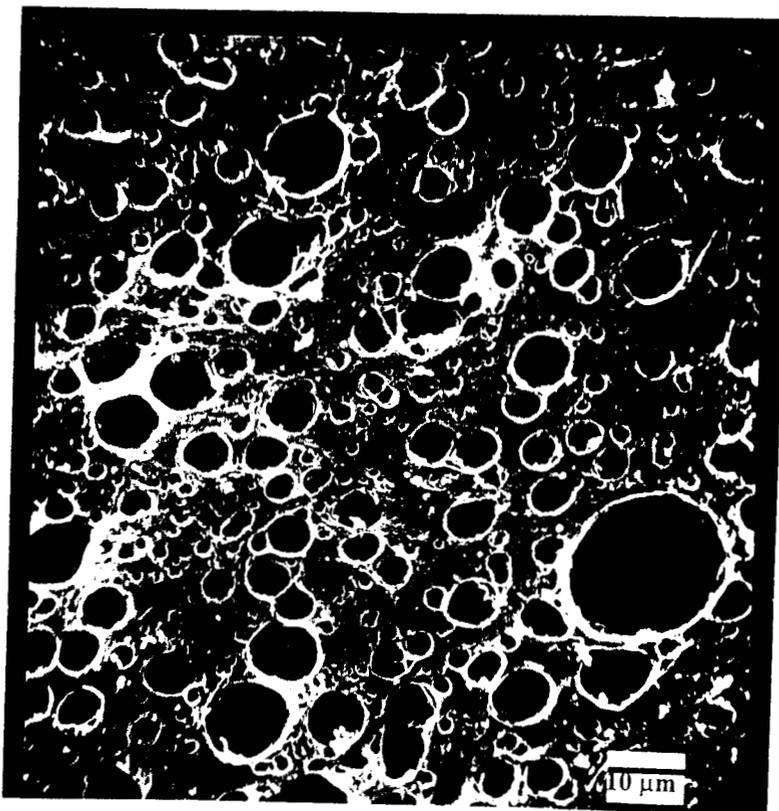


(b)

Figura 3. Micrografías de análogos de queso: (a) grasa butírica-aceite de soya (0.5-0.5) y (b) grasa butírica-grasa de soya (0.5-0.5).

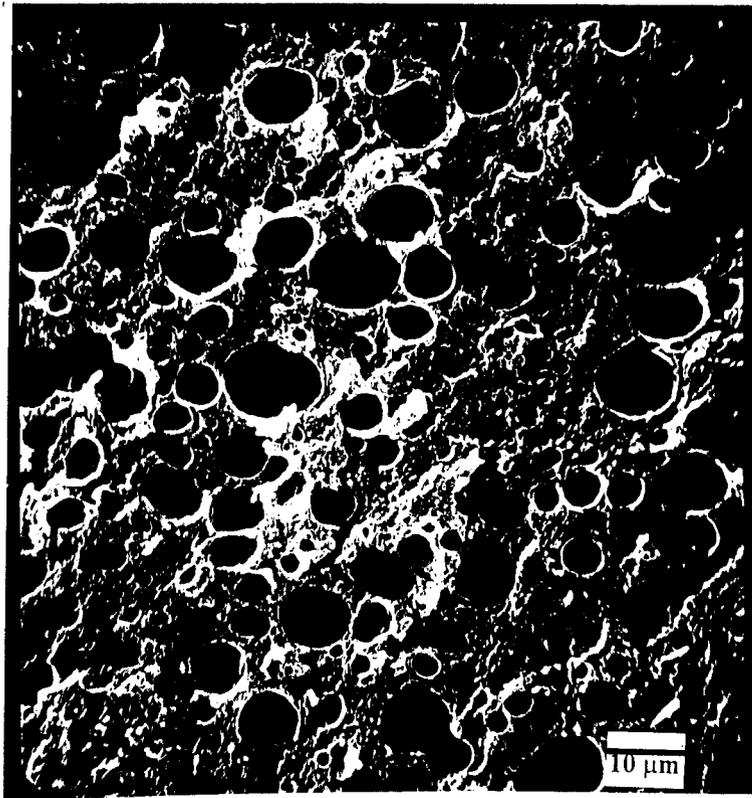


(a)

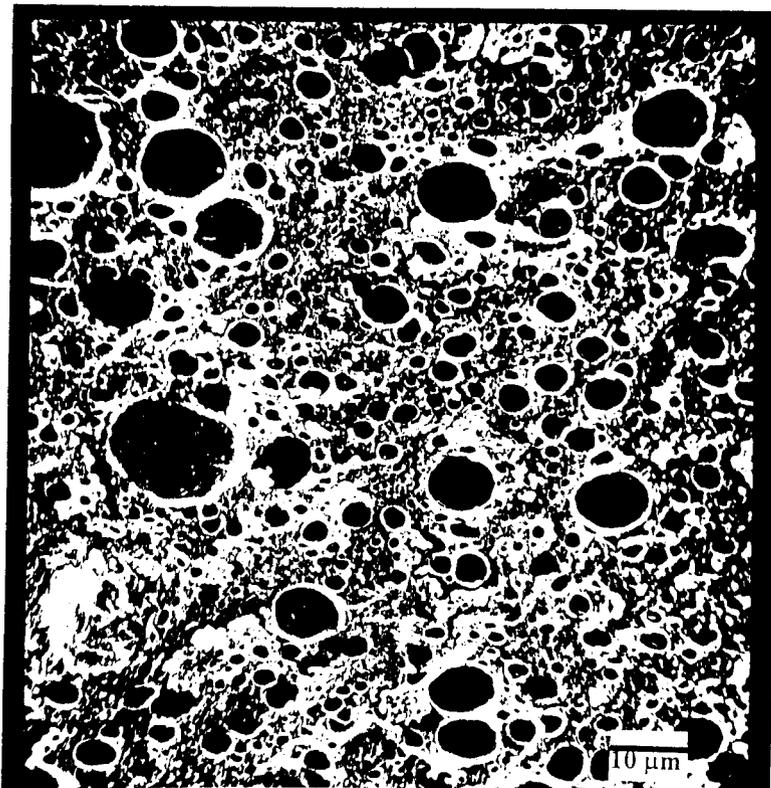


(b)

Figura 4. Micrografías de análogos de queso: (a) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.0.3-0.3-0.3) y (b) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.6-0.2-0.2).



(a)



(b)

Figura 5. Micrografías de análogos de queso: (a) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.2-0.6-0.2) y (b) grasa butírica-grasa de soya-aceite de soya (0.2-0.2-0.6).

en el tamaño de las partículas de grasa, predominando en cada caso el tamaño correspondiente a la grasa que se integró en mayor proporción

7.1.3 Características texturales instrumentales y sensoriales de los análogos de queso. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los análogos preparados con distintos tipos de grasa, en relación a las características instrumentales de: dureza, adhesividad, masticabilidad y elasticidad (tabla 11). Los valores de cohesividad no presentaron diferencia significativa entre formulaciones.

El análogo de queso de mayor dureza fue el elaborado con grasa de soya (s); por el contrario, el más suave fue el formulado con aceite de soya (a); el análogo de referencia preparado con grasa butírica, mostró un valor intermedio de dureza (tabla 11). Los análogos a los que se incorporó una proporción apreciable de grasa butírica: 0.5b-0.5s, 0.3b-0.3s-0.3a y 0.6b-0.2s-0.2a, presentaron valores medios de dureza similares al del queso de referencia.

Los valores de adhesividad de las diferentes formulaciones fueron muy bajos, cercanos a cero o inclusive de cero en algunos casos. El análogo de queso elaborado con un solo tipo de grasa que presentó adhesividad, fue el constituido por grasa de soya; y en general, los análogos que mostraron cierta adhesividad fueron los que incluyeron este tipo de grasa en alguna proporción. Únicamente hubo diferencia significativa entre el análogo de referencia (b) y el 0.2b-0.6s-0.2a (tabla 11).

Tabla 11. Valores medios de las características texturales instrumentales de análogos de queso preparados con distintos tipos de grasa.

Código del análogo	Dureza (kg)	Cohesividad (adim.)	Adhesividad (kg-cm)	Masticabilidad (kg-cm)	Elasticidad (cm)
b	0.32 <i>c</i>	0.74 <i>a</i>	0.000 <i>a</i>	0.18 <i>a</i>	0.97 <i>a</i>
s	0.70 <i>a</i>	0.63 <i>a</i>	0.001 <i>a</i>	0.07 <i>f</i>	0.83 <i>bc</i>
a	0.20 <i>f</i>	0.70 <i>a</i>	0.000 <i>a</i>	0.13 <i>b</i>	0.87 <i>b</i>
0.5b-0.5s	0.33 <i>c</i>	0.63 <i>a</i>	0.006 <i>ab</i>	0.12 <i>bcde</i>	0.70 <i>f</i>
0.5b-0.5a	0.23 <i>e</i>	0.65 <i>a</i>	0.009 <i>ab</i>	0.11 <i>cde</i>	0.82 <i>bcd</i>
0.5s-0.5a	0.27 <i>d</i>	0.65 <i>a</i>	0.006 <i>ab</i>	0.10 <i>ef</i>	0.74 <i>ef</i>
0.3b-0.3s-0.3a	0.31 <i>c</i>	0.66 <i>a</i>	0.007 <i>ab</i>	0.13 <i>bc</i>	0.78 <i>de</i>
0.6b-0.2s-0.2a	0.32 <i>c</i>	0.66 <i>a</i>	0.006 <i>ab</i>	0.12 <i>bcd</i>	0.76 <i>e</i>
0.2b-0.6s-0.2a	0.49 <i>b</i>	0.64 <i>a</i>	0.013 <i>b</i>	0.19 <i>a</i>	0.73 <i>ef</i>
0.2b-0.2s-0.2a	0.23 <i>e</i>	0.73 <i>a</i>	0.000 <i>a</i>	0.10 <i>de</i>	0.82 <i>cd</i>
Valor de p	<0.0001	0.1896	0.0015	<0.0001	<0.0001

b (grasa butírica), s (grasa de soya) y a (aceite de soya). Medias en una misma columna con diferentes letras son diferentes en una $p \leq 0.05$. Valor de p en el cuadro, está referido al análisis de varianza.

La grasa butírica contribuyó a la masticabilidad de los análogos; el caso opuesto lo presentó la grasa de soya. De las formulaciones que incluyeron mezclas de los distintos tipos de grasa, la 0.2b-0.6s-0.2a fue la que presentó una masticabilidad semejante a la del análogo elaborado con grasa butírica (b) (tabla 11).

La elasticidad del análogo de queso de referencia (b) fue la más elevada y no pudo ser igualada a través de la incorporación de otras grasas o mezclas de éstas. Los análogos elaborados con aceite (a) y grasa de soya (s), presentaron valores más bajos de elasticidad, en ese orden (tabla 11).

El uso de diferentes tipos de grasa en la formulación de análogos de queso influyó también sobre sus características sensoriales, mostrando diferencias significativas en firmeza, elasticidad, resistencia al corte, sensación bucal y cremosidad (tabla 12). Un índice R de 50, indicaría que no existe diferencia entre una formulación y el análogo de referencia; entre más se acerque el valor de R a 100 o a 0, la diferencia entre las formulaciones es mayor.

Las contribuciones de los distintos tipos de grasa, en forma individual o combinada, a las características sensoriales de firmeza, elasticidad, resistencia al corte y masticabilidad de los análogos de queso, fueron acordes a las observadas en las características instrumentales (tablas 11 y 12). La incorporación, tanto de grasa de soya, como de aceite de soya, resultaron en productos (s y a), con valores de sensación bucal alejados del encontrado en el análogo de referencia (b) (tabla 12).

El uso de grasa de soya disminuyó la cremosidad de los análogos (s); mientras que el aceite de soya solo (a) o en combinación con grasa butírica (0.5b-0.5a) la mejoró. La formulación integrada con cantidades iguales de grasa de soya y aceite de soya (0.5s-0.5a), mostró un comportamiento sensorial indistinto al exhibido por el análogo de referencia preparado con grasa butírica (b) (tabla 12).

7.1.4 Modelos de las características texturales. Los modelos que describieron las variaciones en la textura de los análogos de queso, en función de o los tipos de grasa incorporados en su formulación, se pueden observar en la tabla 13.

Dureza y firmeza. Modelos polinomiales conteniendo términos cruzados, describieron la dureza instrumental (R^2 : 0.9528) y la firmeza sensorial de los análogos de queso (R^2 : 0.9230) (Tabla 13). Los coeficientes de las fracciones de los distintos tipos de grasa mostraron que la grasa de soya (X_2) fue el principal componente graso que contribuyó a la dureza y firmeza de los análogos. El aceite de soya (X_3) produjo las formulaciones más suaves; mientras que la grasa butírica (X_1) proporcionó dureza y firmeza intermedias a las conferidas por el aceite y grasa de soya. Las mezclas de grasas X_1X_2 y X_2X_3 , tuvieron un efecto negativo sobre dureza y la mezcla X_1X_3 sobre firmeza. Cuando en las mezclas se usó aceite de soya en concentraciones altas, la dureza (figura 6(a)) y la firmeza (figura 6(b)) tendieron a sus valores más bajos; por el contrario, las mezclas que contuvieron una proporción dominante de grasa de soya, presentaron dureza y firmeza similares a las del análogo elaborado con 100 % de grasa butírica.

Tabla 12. Valores medios de las características texturales sensoriales de análogos de queso elaborados con distintos tipos de grasa (Índices R).

Código del análogo	Firmeza	Elasticidad	Resistencia al corte	Masticabilidad	Sensación bucal	Creemosidad
b	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
s	96.7 a	33.3 ab*	100 a	19.2 a	91.6 a	0.92 c
a	0.90 c	58.3 ab*	13.8 b	49.0 a*	91.2 ab	35.1 bc
0.5b-0.5s	91.2 a	36.5 ab*	87.0 a*	52.3 a*	85 abc	39.8 bc*
0.5b-0.5a	3.12 c	63.2 a	7.8 b	58.5 a*	68.7 abcd	77.0 ab*
0.5s-0.5a	35.6 bc*	31.9 ab*	49.5 ab*	57.8 a*	50.9 bcd*	54.6 ab*
0.3b-0.3s-0.3a	26.8 bc*	47.6 ab*	15.6 b	36.9 a*	56.5 abcd*	66.1 ab
0.6b-0.2s-0.2a	21.0 c*	56.2 ab*	22.9 b	63.2 a*	45.5 cd*	61.4 ab*
0.2b-0.6s-0.2a	79.1 ab*	23.6 b	83.3 a*	60.1 a*	75.4 abcd*	37.5 bc*
0.2b-0.2s-0.6a	1.8 c	60.6 ab*	1.3.0 b	39.8 a*	42.7 d	93.0 a
valor de p	<0.0001	0.0084	<0.0001	0.3457	0.0004	0.0003

b (grasa butírica), s (grasa de soya) y a (aceite de soya). Medias en una misma columna con diferentes letras son diferentes en una $p \leq 0.05$. Valor de p en el cuadro, está referido al análisis de varianza. Valores de índice R de la formulación b, fueron fijados en 50, en todos los casos. *Formulaciones que no son diferentes significativamente ($p \leq 0.05$) al análogo de referencia (b).

Tabla 13. Modelos de las características texturales de los análogos de queso en los que se integraron distintos tipos de grasa.

Característica textural	Modelo	R ²	p
Dureza instrumental	$0.321X_1 + 0.705X_2 + 0.193X_3 - 0.534X_1X_2 - 0.55X_2X_3$	0.9528	0.001
Firmeza sensorial	$51.65X_1 + 99.11X_2 - 6.01X_3 - 124.83X_1X_3$	0.9230	0.001
Elasticidad instrumental	$0.927X_1 + 0.797X_2 + 0.813X_3 - 0.722X_1X_2$	0.7171	0.019
Elasticidad sensorial	$55.11X_1 + 22.68X_2 + 60.75X_3$	0.7258	0.010
Sensación bucal	$47.70X_1 + 100.1X_2 + 83.5X_3 - 185.7X_2X_3$	0.7621	0.026
Resistencia al corte	$50.29X_1 + 100.66X_2 + 6.46X_3 - 153.0X_1X_3$	0.8916	0.002
Creemosidad	$52.92X_1 + 3.82X_2 + 40.64X_3 + 151.8X_1X_3 + 160.3X_2X_3$	0.8657	0.020

X₁ (proporción de grasa butírica), X₂ (proporción de grasa de soya), X₃ (proporción de aceite de soya). R² (coeficiente de determinación), p (probabilidad de Ho: R²=0).

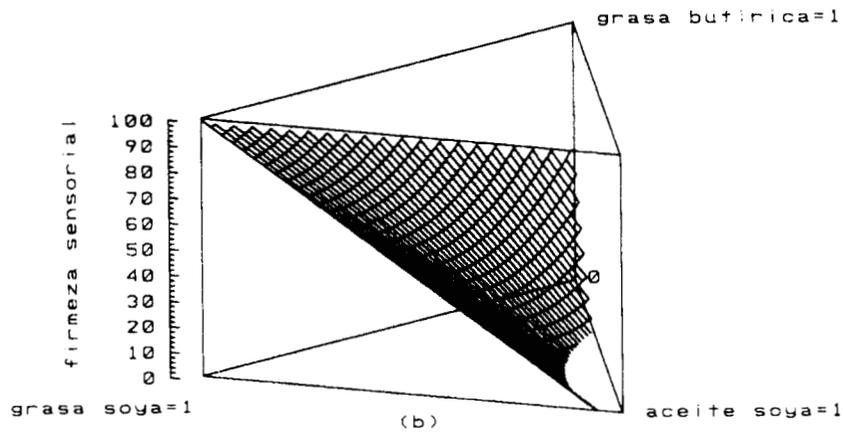
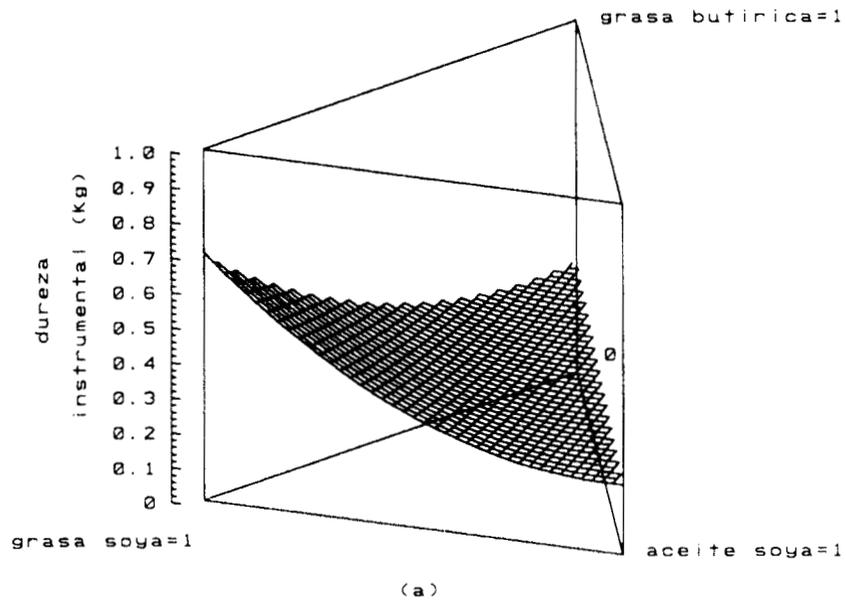


Figura 6. Superficies de respuesta para (a) dureza y (b) firmeza de los análogos de queso dependiendo del tipo de grasa incorporado en su formulación.

Resistencia al corte. El modelo para resistencia al corte sensorial (R^2 : 0.8916) (tabla 13) señaló que la grasa de soya (X_2) principalmente, y la grasa butírica (X_1), fueron los componentes grasos que más contribuyeron a esta característica textural de los análogos; mientras que la mezcla grasa butírica-aceite de soya (X_1X_3) tuvo un efecto negativo, en forma similar a lo encontrado para firmeza sensorial.

Elasticidad instrumental y sensorial. Los modelos obtenidos para elasticidad instrumental y sensorial (R^2 : 0.7171, R^2 : 0.7528, respectivamente) (tabla 13) indicaron que la grasa de soya (X_1) fue el componente graso que proporcionó los análogos con menor capacidad para recuperar su condición no deformada después de que el esfuerzo compresional fue retirado. En la superficie de respuesta (SR) para elasticidad instrumental (figura 7(a)) se puede observar que la mezcla de grasa butírica y grasa de soya (interacción X_1X_2) exhibió la elasticidad más baja; mientras que la SR para elasticidad sensorial (figura 7(b)) mostró que el aceite de soya (X_3), grasa butírica (X_1) y su mezcla (X_1X_3) confirieron la elasticidad más elevada a los análogos de queso.

Sensación bucal y cremosidad. El modelo que describió la sensación bucal (R^2 : 0.7621) (tabla 13) indicó que la grasa de soya (X_2) seguida por el aceite de soya (X_3) contribuyeron en forma individual a valores altos de sensación bucal en los análogos de queso; no obstante, puede observarse en la figura 8(a), que cuando se mezclaron (interacción X_2X_3), la sensación bucal disminuyó al nivel de percepción más bajo. La interacción aceite de soya-

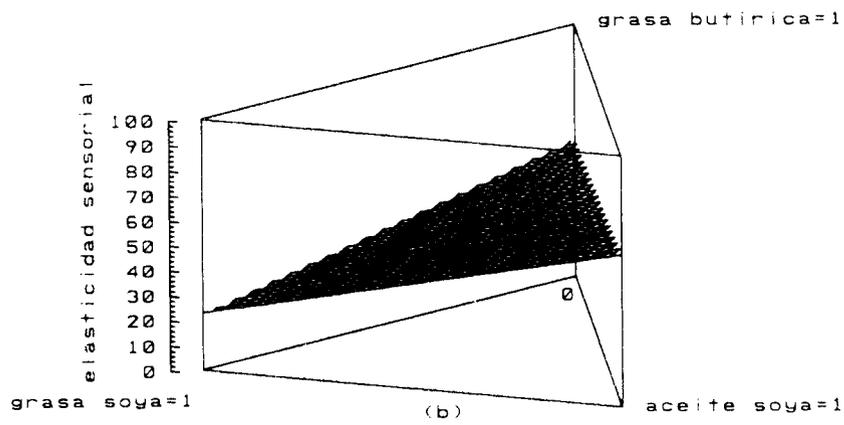
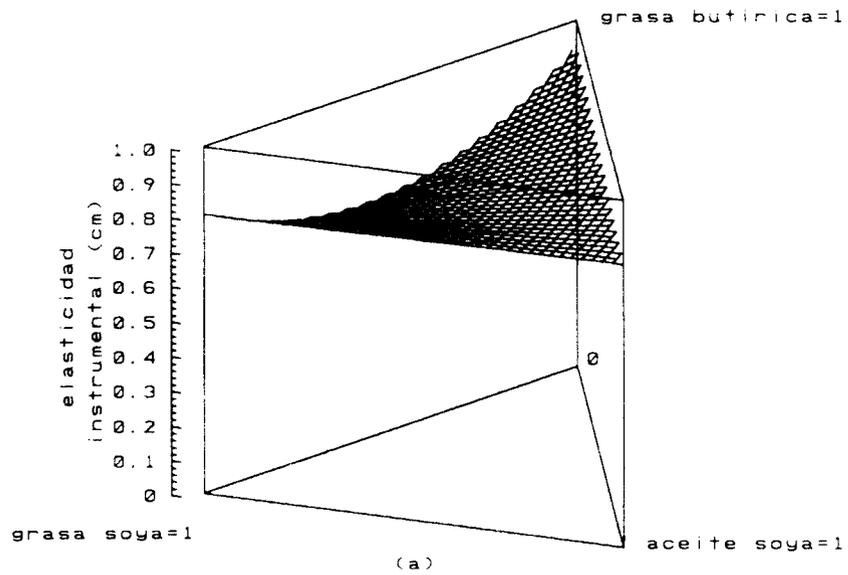


Figura 7. Superficies de respuesta para (a) elasticidad instrumental y (b) elasticidad sensorial de los análogos de queso dependiendo del tipo de grasa incorporado en su formulación.

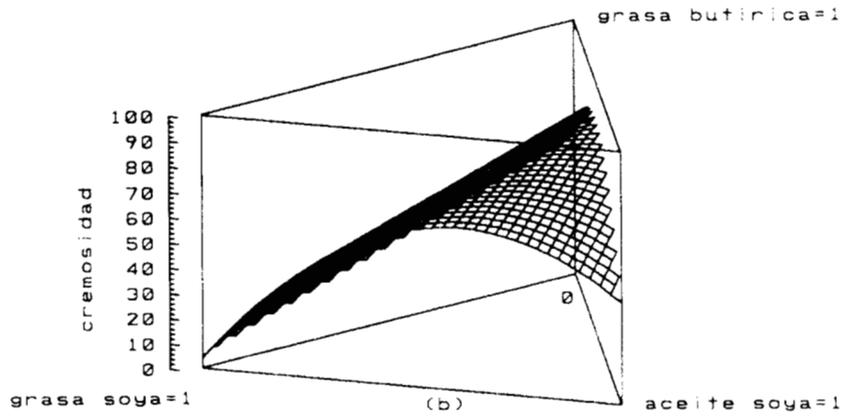
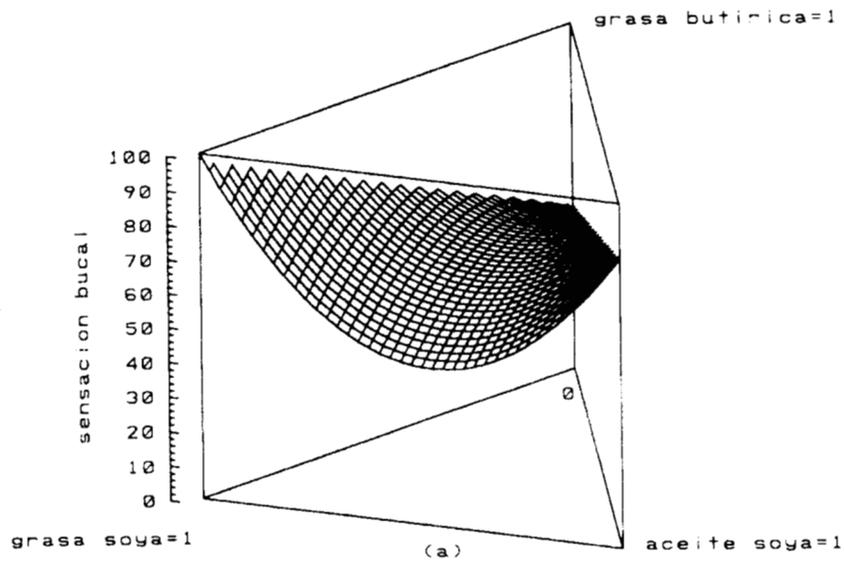


Figura 8. Superficies de respuesta para (a) sensación bucal y (b) cremosidad de los análogos de queso dependiendo del tipo de grasa incorporado en su formulación.

grasa de soya contribuyó a valores de sensación bucal marcadamente semejantes a los exhibidos por el análogo elaborado con grasa butírica.

El modelo de cremosidad ($R^2:0.8657$) (tabla 13) indicó que la grasa de soya (X_2) proporcionó los valores más bajos de cremosidad a los análogos; en contraste, la grasa butírica y el aceite de soya contribuyeron en forma importante a esta característica sensorial. En la SR de cremosidad (figura 8(b)) se puede observar que las interacciones entre aceite de soya y grasa butírica o grasa de soya, impartieron esta característica textural a los análogos.

Los análisis gráficos de residuos, no mostraron contradicción con los supuestos de los modelos en relación a normalidad y homogeneidad de varianza.

Para las características de masticabilidad sensorial e instrumental, adhesividad y cohesividad, no se encontraron modelos que se ajustaran a los datos experimentales; indicando esto probablemente un efecto muy pobre o nulo entre el tipo de la fracción grasa y estas características texturales.

7.1.5 Relaciones entre las características texturales instrumentales. El análisis de componentes principales (ACP) de las características texturales instrumentales indicó la relación entre ellas, así como la distribución de las distintas formulaciones de análogos de queso en este espacio. El primer componente principal explicó el 43% de la varianza total; y en el mismo, la dureza estuvo correlacionada negativamente con la elasticidad y la

cohesividad (figura 9). El segundo componente principal fue descrito principalmente por masticabilidad, y explicó el 20% de la varianza en las características texturales (figura 9).

Los dos componentes principales claramente diferenciaron los análogos, de acuerdo al tipo de grasa incluido en su formulación. Las posiciones en el espacio bidimensional que presentaron los análogos preparados con un tipo de grasa (figura 9), mostraron que la grasa de soya 2(s) confirió dureza a los análogos de queso, pero disminuyó su cohesividad y elasticidad. El aceite de soya 3(o) y la grasa butírica 1(b), proporcionaron cohesividad y elasticidad a los análogos, pero redujeron su dureza.

La grasa butírica acentuó en mayor grado la masticabilidad en los análogos de queso, en comparación con la grasa de soya y el aceite de soya (figura 9).

El uso de mezclas de los diferentes tipos de grasa, ocasionó que el comportamiento exhibido por los análogos en cuestión respecto a una característica textural determinada, fuera intermedio al proporcionado por cada tipo de grasa en forma individual.

De acuerdo a la posición de los análogos de queso en el espacio de los dos componentes principales, las formulaciones que mostraron mayor similitud con el análogo de referencia 1(b) fueron: 3(a) y 5(0.5b-0.5a) (figura 9). La formulación 3 no contiene grasa butírica y en la 5, la grasa butírica constituye el 50% del contenido graso total.

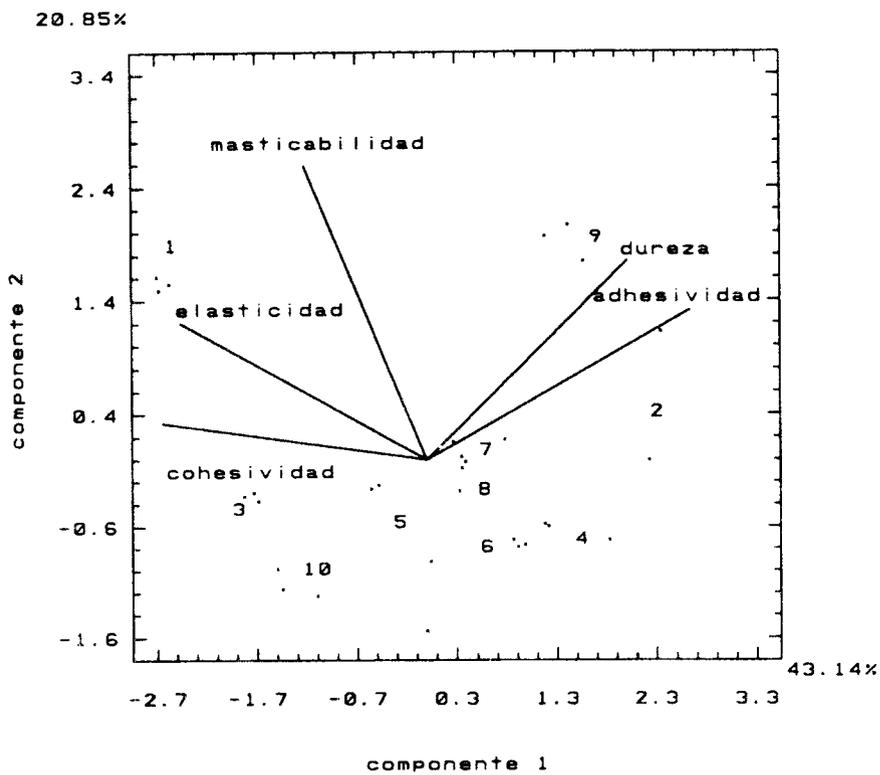


Figura 9. Diagrama de componentes principales de las características instrumentales de textura de los análogos de queso preparados con distintos tipos de grasa . 1(b), 2(s), 3(a), 4(0.5b-0.5s), 5(0.5b-0.5a), 6(0.5s-0.5a), 7(0.3-b-0.3s-0.3a), 8(0.6b-0.2s-0.2a), 9(0.2b-0.6s-0.2a) y 10(0.2b-0.2s-0.6a).

7.1.6 Relación entre las características texturales sensoriales. El ACP mostró un componente que explicó el 52% de la varianza total, representado por las características de firmeza, resistencia al corte y sensación bucal, las cuales estuvieron correlacionadas negativamente con elasticidad y cremosidad (figura 10).

Los análogos de queso que mostraron los mayores valores en la característica textural de sensación bucal, basada en las sensaciones percibidas en la boca durante el proceso de masticación (cohesividad y adhesividad del producto) fueron catalogados por los jueces como muy distintos del análogo de referencia preparado con grasa butírica. Se observó que conforme la firmeza de los análogos se incrementó, su elasticidad y su cremosidad disminuyeron. Los análogos de queso elaborados con una fracción dominante de aceite de soya, 3(a) y 10(0.2b-0.2s-0.6a), estuvieron localizados en el espacio que mostró los valores más bajos de sensación bucal y los más altos para cremosidad y elasticidad; mientras que aquellos preparados con grasa de soya, 2(s) y 9(0.2b-0.6s-0.2a), exhibieron el comportamiento contrario, presentando valores de sensación bucal altos y sobre todo valores muy pobres en cremosidad y elasticidad (figura 10). Finalmente, aquellos análogos conteniendo proporciones altas de grasa butírica, 1(b) y 8(0.6b-0.2s-0.2a), tuvieron una respuesta muy cercana a los preparados con elevadas proporciones de aceite de soya (figura 10).

El segundo componente principal encontrado, explicó el 16% de la varianza total y estuvo constituido por la característica textural de masticabilidad (figura 10); sin embargo, cuando se observa la localización de los diferentes análogos de queso en el espacio

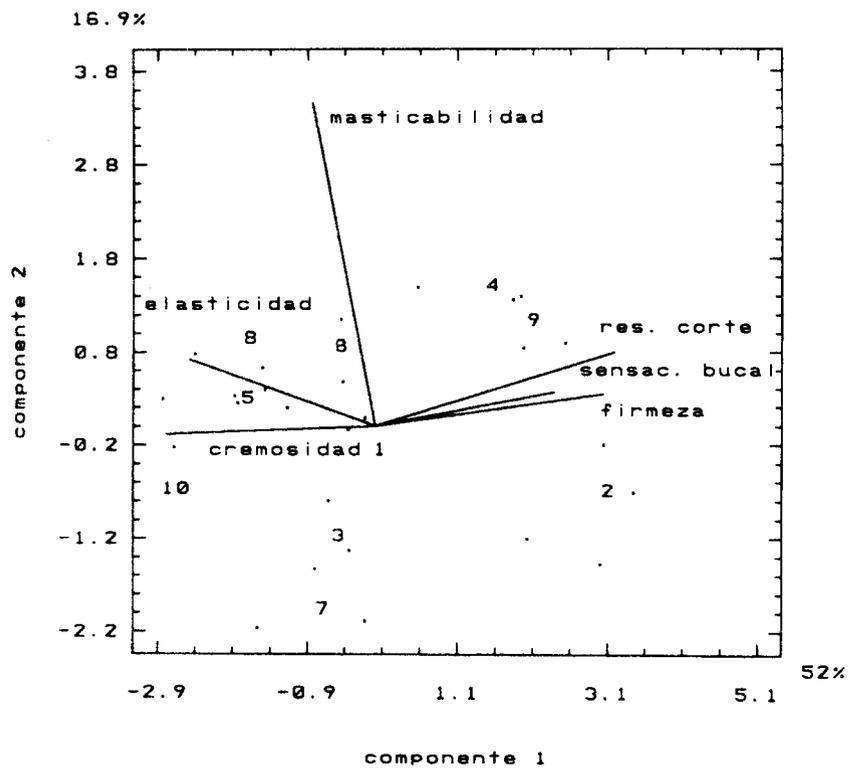


Figura 10. Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de textura de los análogos de queso preparados con distintos tipos de grasa . 1(b), 2(s), 3(a), 4(0.5b-0.5s), 5(0.5b-0.5a), 6(0.5s-0.5a), 7(0.3-b-0.3s-0.3a), 8(0.6b-0.2s-0.2a), 9(0.2b-0.6s-0.2a) y 10(0.2b-0.2s-0.6a).

bidimensional, su dispersión no permite llegar a conclusiones claras, siendo entonces la característica sensorial considerada como no adecuada para la interpretación de datos.

De acuerdo a la ubicación de las formulaciones de los análogos de queso en el primer componente principal, aquellos que mostraron un comportamiento sensorial más cercano al análogo de referencia elaborado con grasa butírica fueron: 3(a), 6(0.5s-0.5a), 7(0.3b-0.3s-0.3a) y 8(0.6b-0.2s-0.2a) (figura 10).

Los análogos de queso que mostraron diferencias muy marcadas respecto al análogo de referencia con grasa butírica, fueron aquellos en los que la grasa de soya predominó, principalmente: 2(s), 9(0.2b-0.6s-0.2a) y 4(0.5b-0.5s), distinguiéndose por sus características sensoriales de firmeza, elasticidad y cremosidad. Los análogos de queso preparados con elevadas proporciones de aceite de soya, se percibieron como suaves, cremosos y elásticos (la primera y última características fueron acordes a los resultados obtenidos en la medición instrumental de dureza y elasticidad) (figura 10).

7.1.7 Relación entre las medidas instrumentales y sensoriales de textura. El procedimiento de Correlaciones Canónicas permite estudiar la relación entre dos grupos de variables, en este estudio la relación entre las características texturales sensoriales e instrumentales. La primera correlación canónica (tabla 14) mostró que la relación entre la textura sensorial e instrumental de los análogos, estuvo definida principalmente por su cohesividad y dureza instrumentales y las características sensoriales de firmeza y cremosidad (tabla 15).

Tabla 14. Correlaciones Canónicas entre las características instrumentales y sensoriales.

Número	Valor propio	Correlaciones Canónicas	Wilks Lambda	Chi-cuadrada	G.L	Nivel de significancia
1	0.7863	0.8867	0.1292	49.116	20	0.0003
2	0.3308	0.5752	0.6044	12.084	12	0.4389
3	0.0855	0.2924	0.9032	2.444	6	0.8747
4	0.0124	0.1112	0.9876	0.299	2	0.8613

Tabla 15. Coeficientes para las variables Canónicas.

Característica Textural	Coefficiente
Firmeza sensorial	0.40108
Elasticidad sensorial	-0.14476
Resistencia al corte sensorial	0.25975
Masticabilidad sensorial	-0.13200
Creosidad	-0.34712
Dureza instrumental	0.64258
Cohesividad instrumental	-0.59349
Masticabilidad instrumental	0.15502
Elasticidad instrumental	0.23772

Al comparar los signos de los coeficientes de correlación de las características texturales instrumentales de los análogos de queso, se observó que al aumentar su dureza, disminuyó su cohesividad. En el caso de las características sensoriales, incrementos en la firmeza de los análogos estuvieron acompañados por disminución en su elasticidad y su cremosidad. La dureza y la firmeza estuvieron correlacionadas positivamente (tabla 15).

Las posiciones relativas de las formulaciones en el diagrama de la función Canónica (figura 11) indicaron que la formulación que mostró mayor afinidad textural con el análogo preparado con grasa butírica fue la 6(0.5s-0.5a), seguida en orden decreciente por 7(0.3b-0.3s-0.3a), 8(0.6b-0.2s-0.2a) y 3 (a).

7.2 Efectos de sustitutos de grasa sobre la microestructura y las características texturales de análogos de queso.

7.2.1 Modelos preliminares de las características texturales instrumentales de análogos de queso preparados con Simplese, Slendid y Dairy-lo. Los modelos que describieron las características de dureza y masticabilidad, y aquellos que lo hicieron con las características de dureza y cohesividad de los análogos incorporados con Simplese y Slendid respectivamente, fueron de tipo lineal (tablas 16 y 17). Los valores de dureza y masticabilidad de los análogos preparados con Dairy-lo, se ajustaron a modelos que incluyeron términos cruzados; mientras que los valores de cohesividad fueron explicados mediante un modelo lineal (tabla 18).

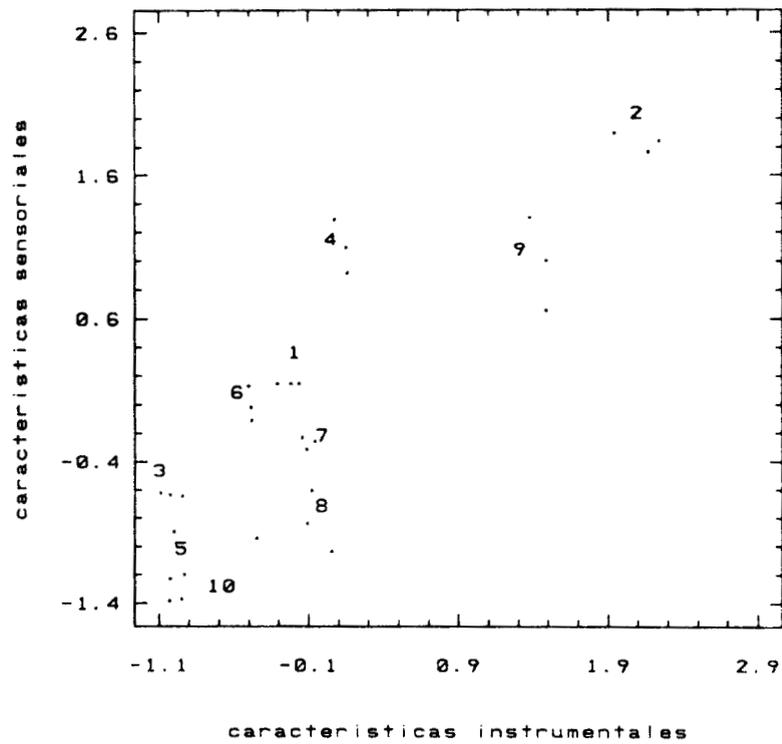


Figura 11. Diagrama de correlaciones canónicas entre las características sensoriales e instrumentales de textura de los análogos de queso elaborados con distintos tipos de grasa . 1(b), 2(s), 3(a), 4(0.5b-0.5s), 5(0.5b-0.5a), 6(0.5s-0.5a), 7(0.3-b-0.3s-0.3a), 8(0.6b-0.2s-0.2a), 9(0.2b-0.6s-0.2a) y 10(0.2b-0.2s-0.6a).

Tabla 16. Modelos polinomiales preliminares para las características texturales instrumentales de los análogos de queso incorporados con Simplese.

Característica textural	Modelo	R ²	p
Dureza	$4.66X_1+7.78X_2+1.64X_3$	0.9807	0.001
Masticabilidad	$1.41X_1+3.32X_2+0.90X_3$	0.9301	0.001

X₁ (relación de sustituto), X₂ (relación de grasa), X₃ (relación de humedad).
R² (coeficiente de determinación), p (probabilidad de Ho: R²=0).

Tabla 17. Modelos polinomiales preliminares para las características texturales instrumentales de los análogos de queso incorporados con Slendid.

Característica textural	Modelo	R ²	P
Dureza	$15.60X_1+7.90X_2+1.36X_3$	0.9511	0.001
Cohesividad	$-0.15X_1+0.59X_2+0.78X_3$	0.7470	0.008

X₁ (relación de sustituto), X₂ (relación de grasa), X₃ (relación de humedad).
R² (coeficiente de determinación), p (probabilidad de Ho: R²=0).

Tabla 18. Modelos polinomiales preliminares para las características texturales instrumentales de los análogos de queso incorporados con Dairy-lo.

Característica textural	Modelo	R ²	P
Dureza	$26.74X_1+9.76X_2+2.23X_3-27.77X_1X_3-10.67X_2X_3$	0.9511	0.001
Cohesividad	$0.01X_1+0.63X_2+0.78X_3$	0.7612	0.005
Masticabilidad	$10.74X_1+4.08X_2+1.10X_3-12.68X_1X_3-3.97X_2X_3$	0.7470	0.008

X₁ (relación de sustituto), X₂ (relación de grasa), X₃ (relación de humedad).
R² (coeficiente de determinación), p (probabilidad de Ho: R²=0).

7.2.2 Características fisicoquímicas de los análogos de queso con Slendid y Dairy-

lo. Entre las formulaciones en las que se empleó Slendid y la de referencia, no se observaron diferencias en sus contenidos de proteína, ni en sus valores de pH (tabla 19). El contenido de grasa del análogo 3(0.056-0.20-0.744) fue menor significativamente del determinado en el análogo completo en grasa. Asimismo, las formulaciones 3 y 5(0.028-0.228-0.744) exhibieron contenidos de humedad mayores que el encontrado en la formulación de referencia.

Los análogos preparados con Dairy-lo y el de referencia, no presentaron diferencias significativas en sus contenidos de humedad y en sus valores de pH (tabla 19). Las formulaciones conteniendo Dairy-lo mostraron alrededor de 0.7-2.5% más proteína, en relación con determinada en la formulación de referencia 0.0-0.36-0.64; pero solo el análogo 3(0.056-0.21-0.734) difirió respecto al análogo completo en grasa. El contenido graso del análogo 3 fue menor significativamente del encontrado en el análogo de referencia (tabla 20).

7.2.3 Microestructura de los análogos elaborados con Slendid y Dairy-lo.

El análogo completo en grasa (0.0-0.36-0.64) (figura 12(a)), mostró numerosas estructuras esféricas de grasa (con un diámetro aproximado de 4-10 μm) con apariencia de agregados cristalinos, cubiertos de proteína. La distribución en tamaño de las partículas grasas fue variable, presentándose en general, en forma de aglomerados. En el análogo de queso reducido en grasa (0-0.17-0.83) (figura 12(b)), las partículas de grasa presentaron la misma morfología que las del análogo de referencia; sin embargo, su número fue menor, así como su grado de

Tabla 19. Características fisicoquímicas de los análogos de queso reducidos en grasa formulados con Slendid.

Código del análogo	Formulación (sust-grasa-hum)	Proteína (%)	Grasa (%)	Humedad (%)	pH
1	0.0-0.36-0.64	24.04 a	23.00 b	36.99 a	5.27 a
2	0.028-0.28-0.692	24.20 a	19.50 ab	41.86 ab	5.17 a
3	0.056-0.20-0.744	24.12 a	15.62 a	45.90 b	5.29 a
4	0.056-0.28-0.664	24.05 a	18.67 ab	41.02 ab	5.00 a
5	0.028-0.228-0.744	24.37 a	17.37 ab	45.11 b	5.35 a
6	0.042-0.247-0.711	23.83 a	17.42 ab	42.70 ab	5.22 a

Medias en la misma columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p \leq 0.05$).

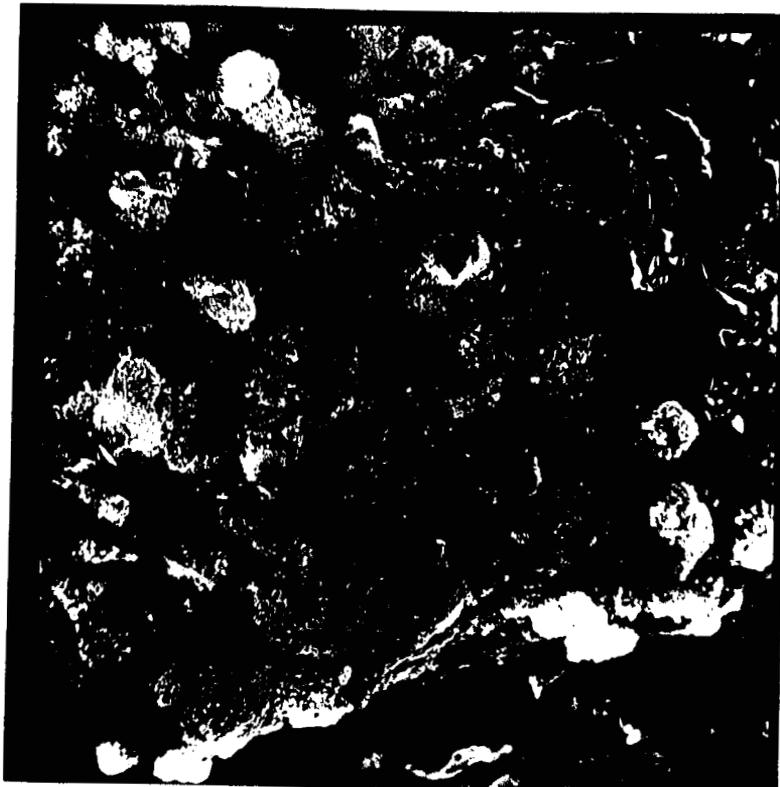
Tabla 20. Características fisicoquímicas de los análogos de queso reducidos en grasa formulados con Dairy-lo

Código del análogo	Formulación (sust-grasa-hum)	Proteína (%)	Grasa (%)	Humedad (%)	PH
1	0.0-0.36-0.64	24.04 a	23.00 b	36.99 a	5.27 a
2	0.028-0.29-0.682	24.78 ab	17.87 ab	40.34 a	5.14 a
3	0.056-0.21-0.734	26.49 b	14.41 a	43.54 a	5.39 a
4	0.056-0.29-0.654	25.81 ab	18.13 ab	40.00 a	5.25 a
5	0.028-0.238 0-0.734	25.29 ab	16.12 ab	43.56 a	5.15 a
6	0.042-0.257-0.701	25.37 ab	18.00 ab	41.83 a	5.30 a

Medias en la misma columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p \leq 0.05$).



(a)



(b)

Figura 12. Micrografías de análogos de queso: (a) completo en grasa (0.0-0.36-0.64) y (b) reducido en grasa (0.0-0.17-0.83).

asociación. En este análogo se observaron zonas de mayor tamaño en las que predominó la proteína, interrumpidas por espacios muy amplios originalmente ocupados por agua.

Las matriz de proteína del análogo 6(0.042-0.247-0.711) preparado con Slendid (figura 13(a)) tuvo la apariencia de una esponja con numerosos espacios muy pequeños (aproximadamente de 0.3-1.0 μm), ocupados originalmente por partículas de grasa. El sustituto Slendid formó agregados de partículas poliédricas, de longitud máxima cercana a 8 μm , adheridos a la matriz de proteína, así como la formación de canales de agua (figura 13(b)). Las matrices de proteína del resto de las formulaciones con Slendid, presentaron una morfología semejante a la descrita para el análogo 6, variando ligeramente en el número de espacios atribuidos a la grasa y a la frecuencia y tamaño de los canales de agua; así, en el análogo 3(0.056-0.20-0.744) (figura 14(a)) se aprecia menor número de espacios de partículas de grasa, pero mayor número de canales de agua.

No fue posible identificar al sustituto Dairy-lo, en la microestructura de los análogos, apreciándose únicamente las estructuras de la grasa y de la matriz de proteína, esta última aparentemente homogénea en su composición. Las partículas de grasa de los análogos en los que se incorporó Dairy-lo (figuras 14(b) y 15), exhibieron formas esféricas cristalinas recubiertas por proteína, de forma similar a lo observado en las formulaciones de los análogos completo (figura 12(a)) y reducido en grasa (figura (12(b))). La matriz proteínica de dichos análogos, fue interrumpida por las partículas grasas, cuyo diámetro osciló en el rango de aproximadamente 1.5-5 μm . Las partículas de grasa pequeñas fueron más numerosas en



(a)

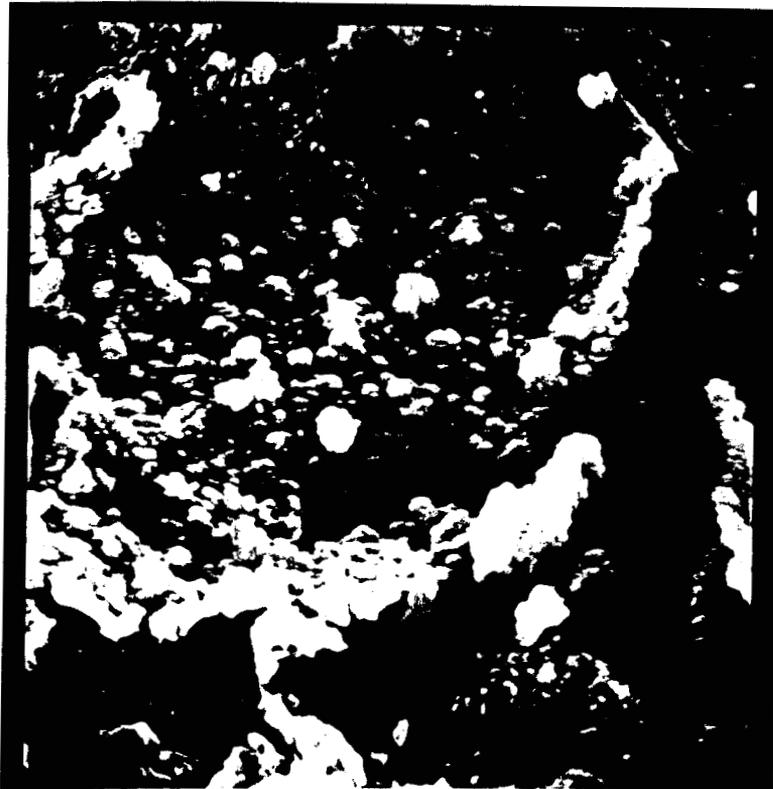


(b)

Figura 13. Micrografías de análogos de queso: (a) formulación con Slendid (0.042-0.247-0.711) (3000X) y (b) formulación con Slendid (0.042-0.247-0.711) (1200X).



(a)



(b)

Figura 14. Micrografías de análogos de queso: (a) formulación con Slendid (0.056-0.20-0.744) y (b) formulación con Dairy-lo (0.042-0.257-0.701).



Figura 15. Micrografía del análogo con Dairy-lo (0.056-0.21-0.734).

comparación con las de mayor tamaño, cuando se redujo la grasa en los análogos con este sustituto; tal fenómeno se observó claramente en las formulaciones 6(0.042-0.257-0.701) y 3(0.056-0.21-0.734) (figuras 14(b) y 15). Asimismo, el tamaño y la frecuencia de los canales de agua en los análogos con Dairy-lo, estuvieron relacionados con sus contenidos de humedad.

7.2.4 Características texturales instrumentales y sensoriales de los análogos de queso incorporados con Slendid y Dairy-lo. Los análogos de queso completo en grasa (1) o de referencia y aquellos reducidos en grasa con Slendid (2 a 6), mostraron diferencias en sus características instrumentales de dureza, cohesividad y masticabilidad (tabla 21). Los análogos 2(0.028-0.28-0.692) y 6(0.042-0.247-0.711), difirieron en sus valores de dureza, más elevado y menor respectivamente, en relación al presentado por el análogo completo en grasa (1); mientras que en la formulación 4(0.056-0.28-0.664), se observó una cohesividad más baja en comparación con la del análogo de referencia. La formulación 3(0.056-0.20-0.744) resultó en un producto más suave y con menor masticabilidad que el análogo 1. Finalmente, el análogo 5(0.028-0.228-0.744), exhibió valores de dureza, cohesividad y masticabilidad significativamente menores a los del análogo de referencia. No se detectaron diferencias en sus valores de elasticidad (tabla 21).

Los análogos del grupo formado por el producto completo en grasa (1) y aquellos preparados con Dairy-lo (2-6), mostraron también diferencias significativas en sus características instrumentales de dureza, cohesividad y masticabilidad (tabla 22), resultados acordes con los observados en el grupo de los análogos elaborados con Slendid (tabla 21). La

Tabla 21. Características instrumentales de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Slendid

Código del análogo	Formulación (sust-grasa-hum)	Dureza (kg)	Cohesividad (adim)	Elasticidad (cm)	Masticabilidad (kg-cm)
1	0.0-0.36-0.64	6.540d	0.634b	0.6863a	2.849b
2	0.028-0.28-0.692	7.088e	0.584ab	0.6661a	1.590ab
3	0.056-0.20-0.744	5.133b	0.442ab	0.6254a	0.609a
4	0.056-0.28-0.664	6.521d	0.345a	0.6366a	1.367ab
5	0.028-0.228-0.744	3.919a	0.345a	0.6583a	0.596a
6	0.042-0.247-0.711	5.708c	0.421ab	0.6598a	0.711a
	Valor de p	0.0009	0.0154	0.2867	0.0015

Tabla 22. Características instrumentales de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Dairy-lo

Código del análogo	Formulación (sust-grasa-hum)	Dureza (kg)	Cohesividad (adim)	Elasticidad (cm)	Masticabilidad (kg-cm)
1	0.0-0.36-0.64	6.540d	0.634b	0.6863a	2.849c
2	0.028-0.29-0.682	4.403bc	0.571b	0.6848a	1.740b
3	0.056-0.21-0.734	2.689a	0.418a	0.6385a	0.776a
4	0.056-0.29-0.654	5.028cd	0.566ab	0.6583a	1.840b
5	0.028-0.238-0.734	3.222ab	0.535ab	0.6450a	1.254ab
6	0.042-0.257-0.701	4.544bc	0.550ab	0.6493a	1.726b
	Valor de p	0.0011	0.0018	0.0370	0.0017

masticabilidad del análogo 4(0.056-0.28-0.664), fue la única característica de textura que lo distinguió del producto de referencia (1). Las formulaciones 2(0.028-0.28-0.692), 5(0.028-0.228-0.744) y 6(0.042-0.247-0.711), presentaron valores de dureza y masticabilidad inferiores a los del análogo 1. La composición del análogo 3(0.056-0.20-0.744), resultó en un producto más suave, con menor masticabilidad y más baja cohesividad que el completo en grasa (tabla 22). Al igual que en el grupo de análogos elaborados con Slendid, no se detectaron diferencias en sus valores de elasticidad.

Las características sensoriales de firmeza, cohesividad, recubrimiento bucal y adhesividad de los análogos de queso, variaron de acuerdo a sus contenidos en Slendid, grasa y humedad. Por el contrario, no se observaron diferencias en sus valores de elasticidad y masticabilidad (tabla 23). En los análogos del grupo formulado con Dairy-lo, se detectaron diferencias en firmeza y recubrimiento bucal, pero no en cohesividad, adhesividad, elasticidad y masticabilidad (tabla 24).

7.2.5 Modelos para las características de textura instrumentales y sensoriales de los análogos de queso preparados con Slendid y Dairy-lo. Los modelos que describieron la dureza instrumental y la firmeza sensorial de los análogos de queso, con base en sus contenidos de Slendid (X_1), grasa (X_2) y humedad (X_3), indicaron un efecto negativo del sustituto y humedad, así como un efecto positivo de la grasa (tabla 25). No obstante, las interacciones sustituto-grasa y sustituto-humedad contribuyeron en forma importante a estas características texturales de los análogos.

Tabla 23. Características sensoriales de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Slendid

Código del análogo	Formulación (sust-grasa-hum)	Firmeza	Cohesividad	Elasticidad	Masticabilidad	Recub. bucal	Adhesividad
1	0.0-0.36-0.64	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	0.028-0.28-0.692	5.78b	6.08b	4.33a	5.21a	4.56a	5.10ab
3	0.056-0.20-0.744	4.31ab	4.37a	4.88a	4.78a	5.94b	4.4765a
4	0.056-0.28-0.664	4.44ab	3.77a	4.22a	4.64a	5.72ab	66.16b
5	0.028-0.228-0.744	3.06a	3.67a	4.61a	3.98a	4.99ab	4.99a
6	0.042-0.247-0.711	4.53ab	4.63a	4.93a	5.07a	4.88ab	5.22ab
	Valor de p	0.0138	0.0022	0.4356	0.5047	0.0325	0.0238

Tabla 24. Características sensoriales de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Dairy-lo

Código del análogo	Formulación (sust-grasa-hum)	Firmeza	Cohesividad	Elasticidad	Masticabilidad	Recub. bucal	Adhesividad
1	0.0-0.36-0.64	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	0.028-0.29.682	4.84ab	5.71a	5.14a	5.16a	4.52a	4.84a
3	0.056-0.21-0.734	3.22a	4.05a	3.71a	4.80a	5.64cd	3.86a
4	0.056-0.29-0.654	5.46b	4.97a	4.70a	5.36a	5.37bc	5.49a
5	0.028-0.238-0.734	3.77ab	4.21a	3.90a	5.00a	6.02d	4.75a
6	0.042-0.257-0.701	4.12ab	4.79a	4.92a	5.11a	5.11b	4.71a
	Valor de p	0.0258	0.0740	0.0685	0.8838	0.0005	0.1462

El sustituto y la humedad también ejercieron un efecto negativo sobre la cohesividad instrumental y sensorial de los análogos, en forma opuesta a la grasa. En los modelos de dichas características texturales, los términos cruzados sustituto-grasa y sustituto-humedad determinados, señalaron que estas interacciones favorecieron la cohesividad de los análogos que contuvieron Slendid (tabla 25).

El modelo para masticabilidad instrumental de los análogos fue lineal, y mostró aportaciones del sustituto, grasa y humedad en los rangos de concentración que se manejaron (tabla 25). En el recubrimiento bucal de los análogos de queso, intervinieron positivamente sus contenidos en sustituto, grasa y humedad; sin embargo, las interacciones sustituto-grasa y sustituto-humedad lo decrecieron (tabla 25). La adhesividad fue favorecida por el sustituto, grasa y humedad presentes en los análogos de queso, en forma conjunta con la interacción sustituto-grasa (tabla 25).

El modelo que describió la dureza instrumental de los análogos preparados con Dairy-lo fue de tipo lineal y presentó coeficientes positivos para los contenidos de sustituto (X_1), grasa (X_2) y humedad (X_3); no obstante, no mostró interacciones entre estos componentes, que favorecieran la dureza del producto (tabla 26). El modelo para firmeza sensorial, mostró también coeficientes positivos para los contenidos de sustituto, grasa y humedad, con la presencia adicional del término X_1X_3 (sustituto-humedad) con signo negativo; este último señaló un decremento en esta característica de textura debido a la interacción entre Dairy-lo y la humedad (tabla 26).

Tabla 25. Modelos para las características de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Slendid

Característica textural	Modelo	R ²	Valor de p
Dureza Instrumental	$-46.23X_1+6.61X_2-6.81X_3+82.84X_1X_2+112.33X_1X_3$	0.9916	0.0001
Firmeza sensorial	$-55.70X_1+6.07X_2-8.13X_3+90.99X_1X_2+127.09X_1X_3$	0.8938	0.0072
Cohesividad instrumental	$-5.23X_1+0.64X_2-0.63X_3+7.61X_1X_2+11.71X_1X_3$	0.8594	0.0387
Cohesividad sensorial	$-65.47X_1+5.07X_2-7.36X_3+102.14X_1X_2+140.08X_1X_3$	0.9497	0.0005
Masticabilidad instrumental	$0.09X_1+2.71X_2+0.43X_3$	0.9861	0.0004
Recubrimiento bucal	$34.22X_1+5.00X_2+7.531X_3-42.09X_1X_2-48.12X_1X_3$	0.8388	0.0066
Adhesividad	$5.71X_1+4.95X_2+4.31X_3+5.33X_1X_2$	0.7893	0.0044

X₁ (proporción de Slendid), X₂ (proporción de grasa), X₃ (proporción de humedad). R² (coeficiente de determinación), p (probabilidad de Ho: R²=0).

Tabla 26. Modelos para las características de textura de análogos de queso reducidos en grasa con Dairy-lo

Característica textural	Modelo	R ²	Valor de p
Dureza Instrumental	$3.91X_1+6.46X_2+2.1499X_3$	0.8964	0.0001
Firmeza sensorial	$7.29X_1+5.03X_2+4.05X_3-8.90X_1X_3$	0.8596	0.0009
Cohesividad instrumental	$0.02X_1+0.63X_2+0.67X_3+0.65X_1X_2$	0.8294	0.0019
Masticabilidad instrumental	$0.71X_1+2.83X_2+0.95X_3$	0.8947	0.0001
Recubrimiento bucal	$97.96X_1+5.02X_2+15.38X_3-152.89X_1X_2-173.41X_1X_3$	0.9722	0.0001

X₁ (proporción de Slendid), X₂ (proporción de grasa), X₃ (proporción de humedad). R² (coeficiente de determinación), p (probabilidad de Ho: R²=0).

El sustituto Dairy-lo, la humedad y la grasa ejercieron efectos positivos sobre la cohesividad, instrumental de los análogos, así como la interacción sustituto-grasa (X_1X_2) (tabla 26). El modelo para masticabilidad instrumental de los análogos con Dairy-lo, fue lineal, al igual que en el caso de los análogos que contuvieron Slendid, y mostró aportaciones del sustituto, grasa y humedad en los rangos de concentración que se estudiaron (tabla 26). En el recubrimiento bucal de los análogos de queso, intervinieron positivamente sus contenidos en sustituto, grasa y humedad; sin embargo, las interacciones sustituto-grasa y sustituto-humedad lo decrecieron (tabla 26); de manera similar a la observado en el modelo de recubrimiento bucal obtenido para los análogos elaborados con Slendid (tabla 25).

Los análisis gráficos de residuos, no mostraron contradicción con los supuestos de los modelos en relación a normalidad y homogeneidad de varianza.

Para las características de masticabilidad sensorial y elasticidad tanto instrumental como sensorial, no se encontraron modelos que se ajustaran a los datos experimentales; así como tampoco los hubo para las características sensoriales de cohesividad y adhesividad de los análogos integrados con Dairy-lo. Lo anterior probablemente se debió a un efecto muy pobre o nulo entre la composición sustituto-grasa-humedad de las formulaciones sobre las características texturales mencionadas.

7.2.6 Diagramas de contorno de las características texturales de los análogos formulados con Slendid y Dairy-lo. Cuando hay tres componentes en una mezcla, la región experimental restringida puede representarse en coordenadas trilineales. Los vértices de este

triángulo están asociados a la presencia de solo uno de los componentes; asimismo cada uno de los lados representa una mezcla que carece de uno de ellos, el componente que no aparece es el que se encuentra en el vértice opuesto. El área interna, está definida por mezclas de los tres componentes. Siguiendo las bandas de los diagramas de contorno obtenidos, se pueden determinar las proporciones de sustituto, grasa y humedad que impartan a los análogos las características texturales deseadas.

Dureza instrumental y firmeza sensorial. Los diagramas de contorno correspondientes a la firmeza sensorial y a la dureza instrumental de los análogos de queso que incluyeron Slendid (figuras 16(a y b)), mostraron que estas características decrecieron al disminuir la grasa e incrementar la humedad en el producto. La línea de contorno correspondiente al valor de firmeza sensorial 5, presentado por el análogo completo en grasa (figura 16(b)), refleja que es posible integrar menores cantidades de grasa en su formulación, en comparación con las requeridas para que se detecte en el producto un valor de dureza instrumental de 6.5 (figura 16(a)), exhibido por el análogo completo en grasa. Al considerar los puntos A de las líneas de contorno 6.5 y 5, y realizar el cálculo de las composiciones porcentuales de los análogos de menor proporción de grasa, se obtuvieron formulaciones, cuyos contenidos en sustituto, grasa y humedad fueron: 0.046-0.241-0.688 (firmeza igual a 5), 0.045-0.258-0.696 (dureza igual a 6.5).

Las líneas de contorno para valores de dureza y firmeza determinados, presentaron la opción de manejar dos porcentajes de sustituto y humedad, a un determinado contenido de grasa; así por ejemplo, para que el producto muestre una firmeza sensorial con valor de 5, se

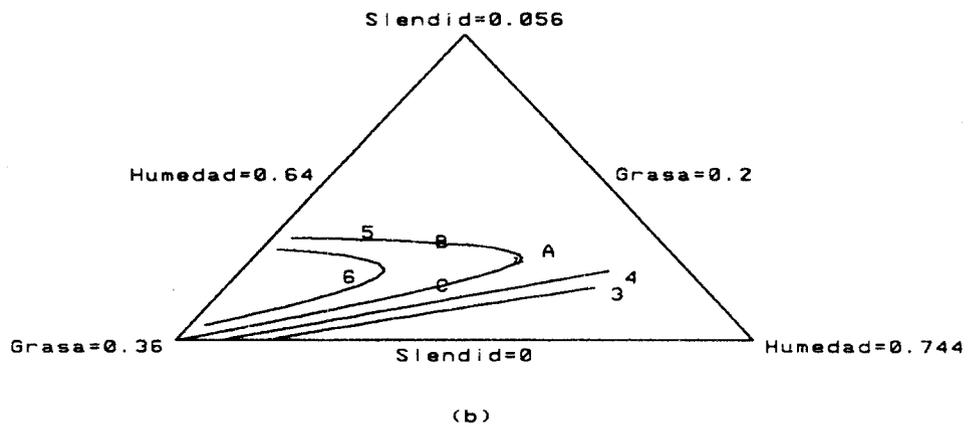
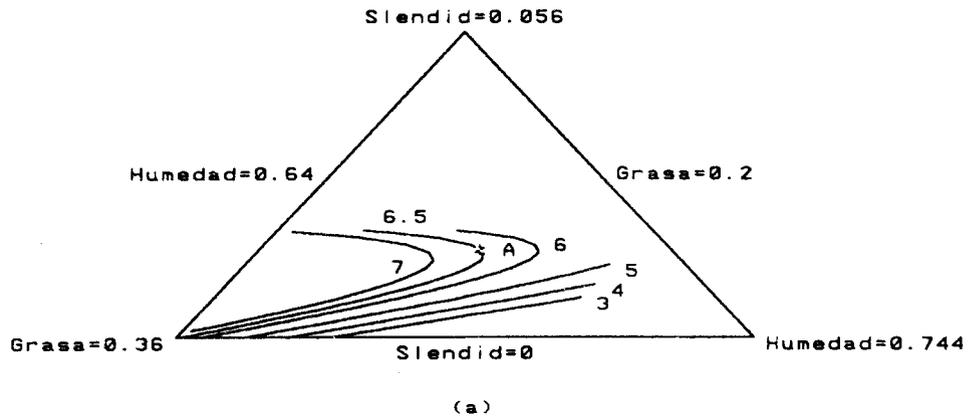


Figura 16. Diagramas de contornos para (a) dureza y (b) firmeza de los análogos de queso incorporados con Slendid.

puede integrar 26.57% de fracción grasa con 5.29% de sustituto y 68.14% de humedad (punto B, figura 16(b)) o este mismo porcentaje de grasa con 2.82% de sustituto y 70.61% de humedad (punto C, figura 16(b)). Esta última posibilidad es más apreciada económicamente.

Las líneas de contorno para la dureza instrumental de los análogos de queso que incluyeron Dairy-lo, fueron prácticamente verticales (figura 17(a)), reflejando una contribución pobre de este sustituto. La grasa y la humedad fueron los componentes que mayor influencia tuvieron sobre la dureza de los análogos, aunque en sentidos contrarios, a mayor grasa y menor humedad los productos fueron más duros. No hubo una línea de contorno de valor 6.5, mismo que se obtuvo en el análogo completo en grasa, que señalara la posible disminución de la grasa en los análogos sin menoscabo de su dureza instrumental. En el caso de firmeza sensorial (figura 17(b)), el efecto de la concentración de Dairy-lo fue mayor en la zona correspondiente a valores de grasa entre 0.27 y 0.36, líneas de contorno correspondientes a valores de 5 y 5.5. El punto A tuvo la siguiente composición en sustituto, grasa y humedad: 0.056, 0.277 y 0.66, respectivamente, y puede constituir una alternativa para la disminución de grasa en un 23.1% con respecto a la del análogo prototipo, sin que la firmeza del producto se vea afectada sensiblemente.

Cohesividad instrumental y sensorial. Los valores de cohesividad, instrumental y sensorial, de los análogos preparados con Slendid, aumentaron al incrementar la grasa y disminuir el sustituto y la humedad (figuras 18(a) y b)). Los puntos A de los diagramas mencionados, relacionados con las formulaciones de menor contenido graso, señalaron como viables las combinaciones de sustituto, grasa y humedad: 0.039-0.238-0.721 (cohesividad

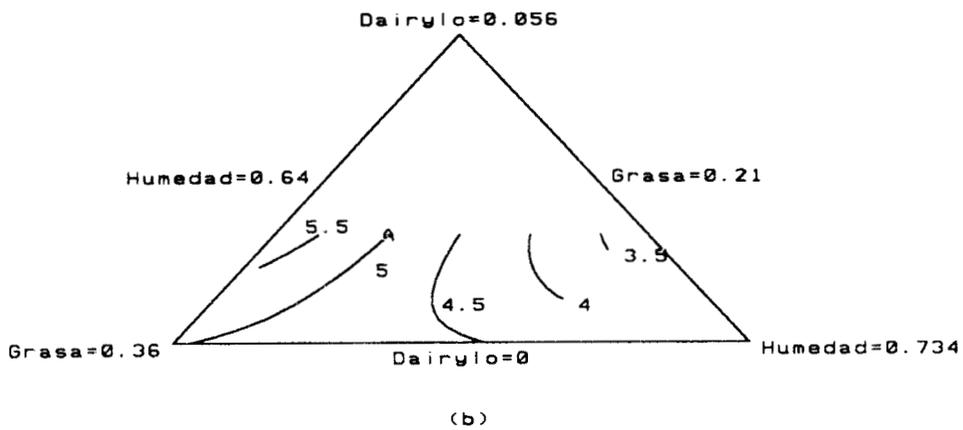
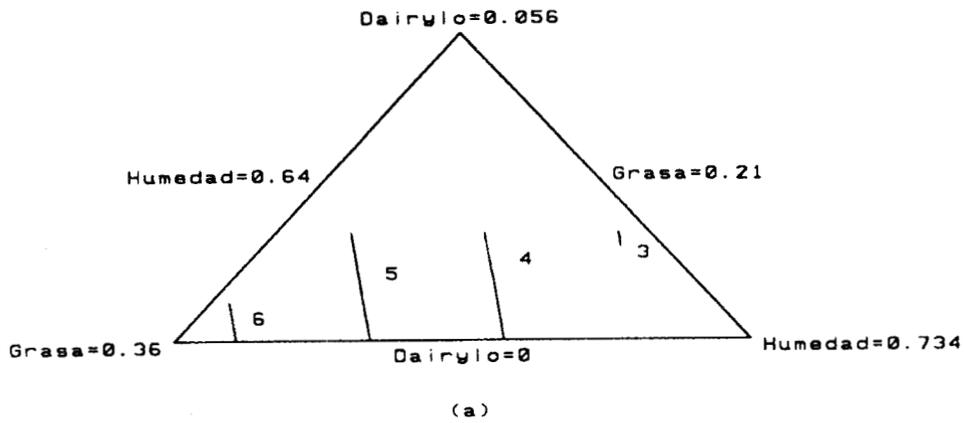


Figura 17. Diagramas de contornos para (a) dureza y (b) firmeza de los análogos de queso incorporados con Dairy-lo.

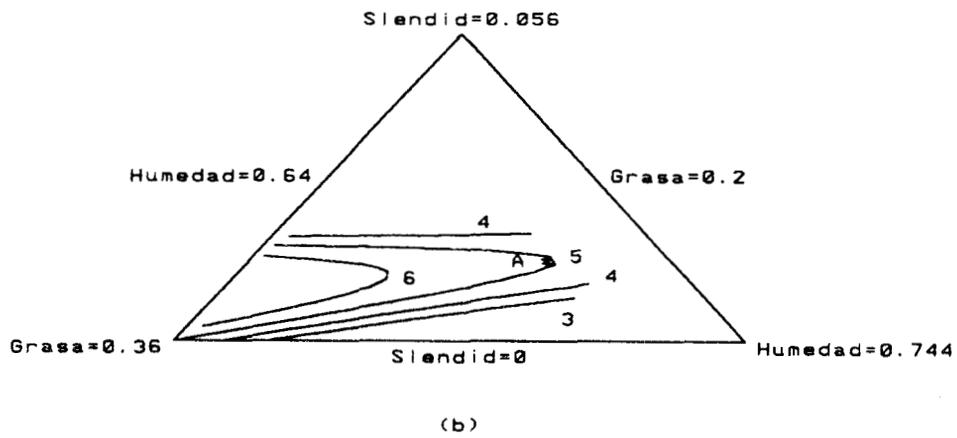
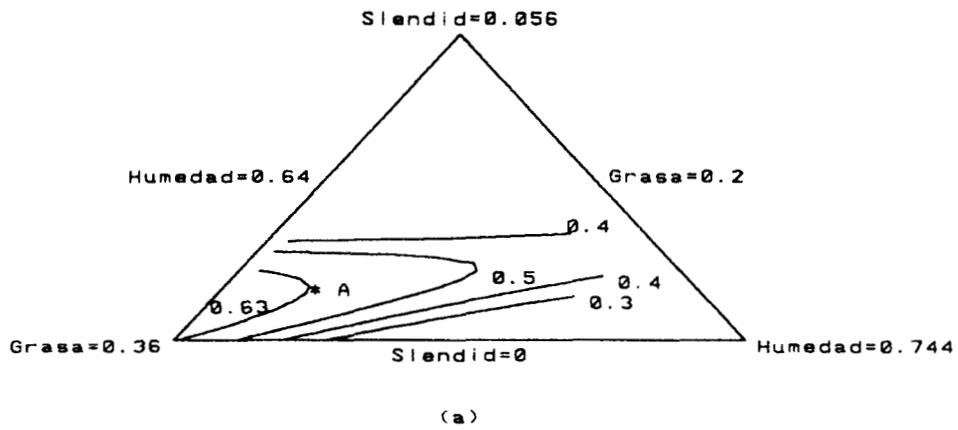


Figura 18. Diagramas de contornos para cohesividad (a) instrumental y (b) sensorial de los análogos de queso incorporados con Slendid.

sensorial igual a 5) (figura 18(a)) o 0.03-0.307-0.662 (cohesividad instrumental igual a 0.63) (figura 18(b)). Para obtener un valor determinado de esta característica textural a un porcentaje fijo de grasa se presenta, como en el caso de dureza y de firmeza, la opción de elegir formulaciones con distintos porcentajes de sustituto y humedad.

Al observar el diagrama de contornos de la cohesividad instrumental de los análogos elaborados con Dairy-lo (figura 19), se puede observar que es posible manejar rangos amplios de grasa y humedad, sin modificación de la cohesividad, al mantener bajos los valores de sustituto en los análogos. El punto A, ubicado en la línea correspondiente al valor de cohesividad del análogo de referencia (0.63), indicó la posibilidad de reducir el contenido graso en el producto hasta 25.6%, mediante la incorporación de 0.9% de sustituto.

Masticabilidad instrumental. La masticabilidad de los análogos en los que se incorporó ya sea Slendid o Dairy-lo, disminuyó conforme se redujo su contenido en fracción grasa y se incrementó su humedad (figuras 20(a y b)). Las líneas rectas correspondientes a diferentes valores de esta característica textural, presentaron una leve inclinación hacia la zona de menor contenido graso, lo cual refleja que la contribución de ambos sustitutos fue baja; de hecho, no se observaron líneas que proporcionaran el valor de cohesividad de 2.84, obtenido en el análogo completo en grasa.

Recubrimiento bucal. La líneas de contorno para obtener un valor de recubrimiento bucal de 5 en los análogos incorporados con Slendid o Dairy-lo, ofrecieron una amplia gama de composiciones, entre ellas las de porcentajes bajos en grasa y altos en humedad, pudiendo

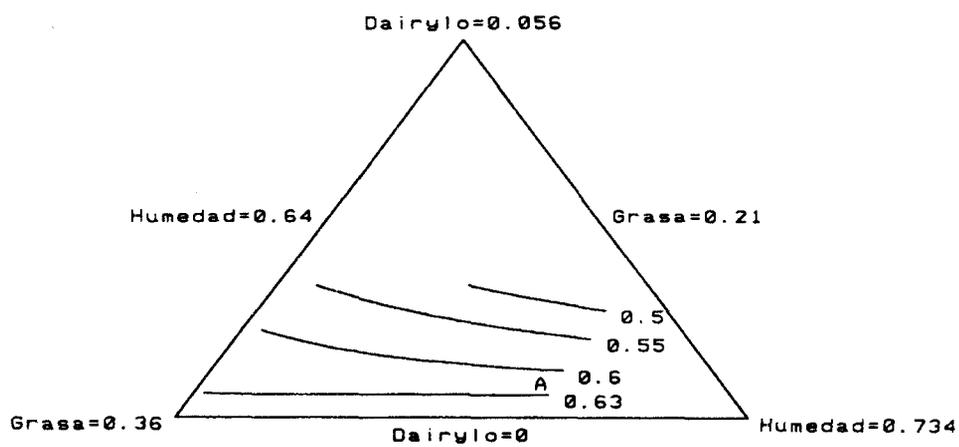


Figura 19. Diagramas de contornos para cohesividad instrumental de los análogos de queso incorporados con Dairy-lo.

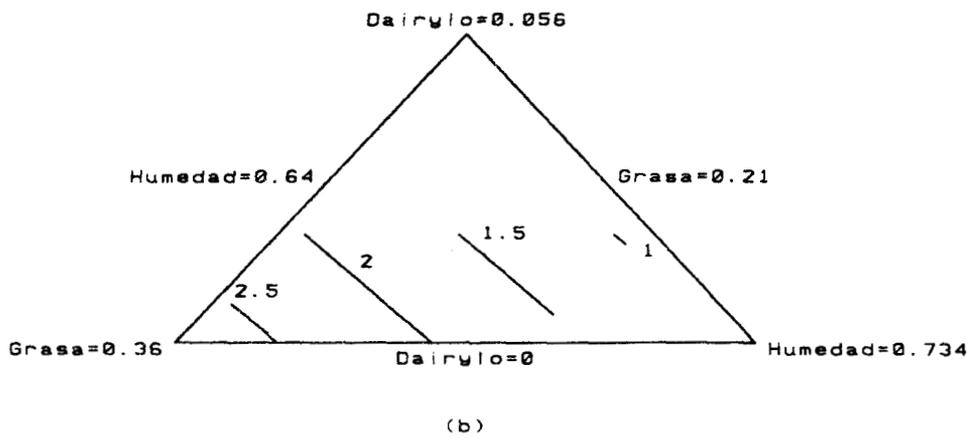
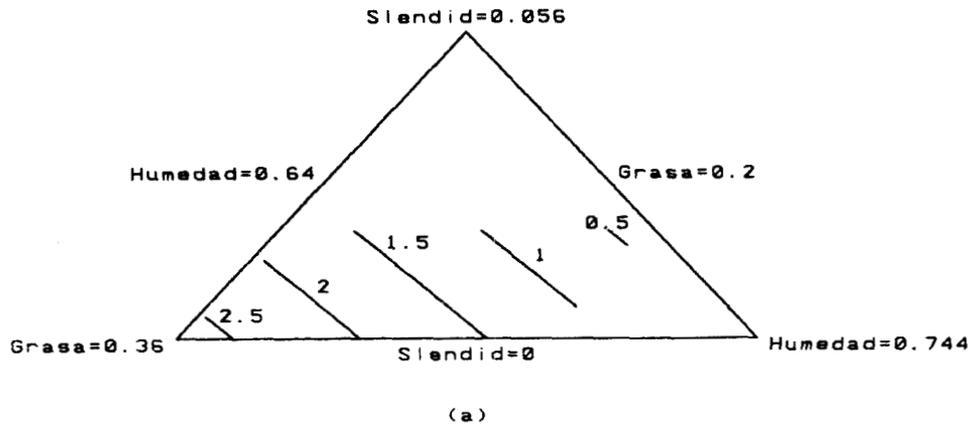


Figura 20. Diagramas de contornos para masticabilidad instrumental de los análogos de queso incorporados con (a) Slendid y (b) Dairy-lo.

integrar dos concentraciones de sustituto (figuras 21(a y b)). Las formulaciones de los análogos elaborados con Slendid de los puntos A y B, están constituidas por: 0.042-0.235-0.723 y 0.022-0.243-0.735 de porcentajes de sustituto, grasa y humedad, respectivamente (figura 21(a)). Por su parte, las formulaciones de los análogos preparados con Dairy-lo, de los puntos A y B, están constituidas por porcentajes de sustituto, grasa y humedad de: 0.054-0.226-0.72 y 0.039-0.24-0.721, respectivamente (figura 21(b)).

Adhesividad sensorial. Para obtener análogos reducidos en grasa con adhesividad igual a la del producto completo en grasa, se pueden manejar contenidos bajos en grasa y altos en Slendid y humedad (línea de contorno 5, figura 22). La formulación en el punto A, estaría formada por 0.052 de sustituto, 0.223 de grasa y 0.724 de humedad.

7.2.7 Distribución de los análogos de queso en el espacio bidimensional de componentes principales, de acuerdo a sus características texturales instrumentales. El análisis de componentes principales aplicado a las características de textura instrumentales de los análogos de queso que contuvieron Slendid, mostró un primer componente que explicó el 73.36% de la varianza entre formulaciones, y estuvo representado por todas las características determinadas: cohesividad, masticabilidad, elasticidad y dureza, todas ellas relacionadas en forma positiva (figura 23). El segundo componente, responsable de 17.68% de la varianza entre análogos, estuvo constituido principalmente por dureza, correlacionada negativamente con elasticidad. Las posiciones de las distintas formulaciones de los análogos en el espacio bidimensional, indicó que el análogo 2(0.028-0.28-0.692), seguido por el 6(0.042-0.247-0.711), presentaron las características de textura instrumentales de mayor semejanza a las del

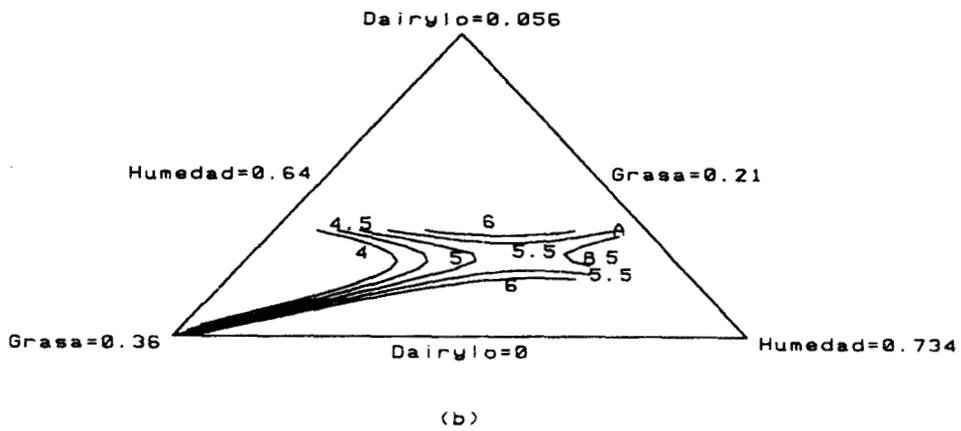
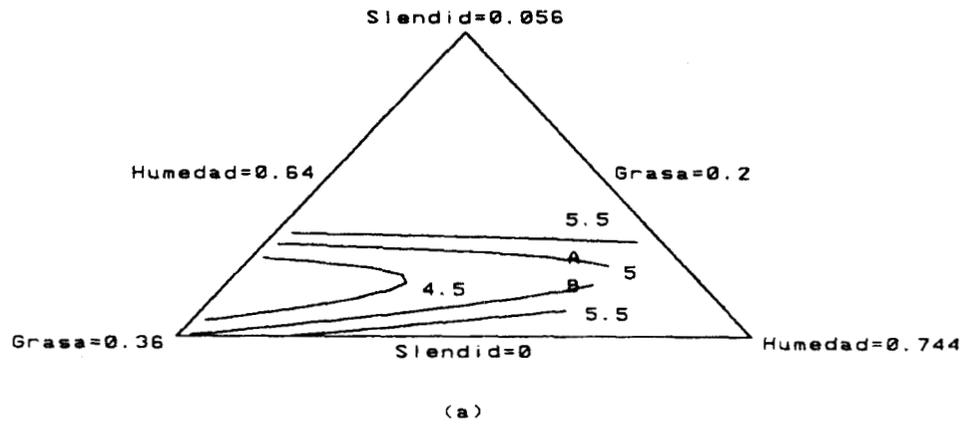


Figura 21. Diagramas de contornos para recubrimiento bucal de los análogos de queso incorporados con (a) Slendid y (b) Dairy-lo.

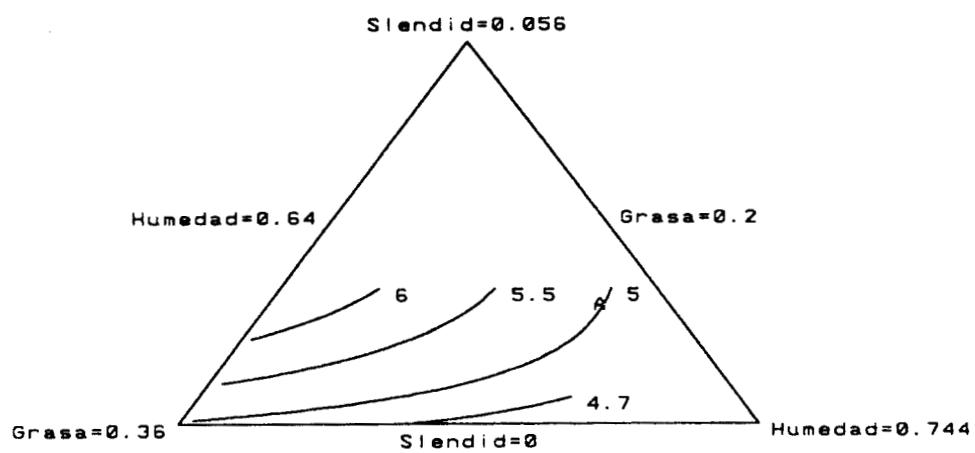


Figura 22. Diagrama de contornos para la adhesividad sensorial de los análogos de queso incorporados con Slendid.

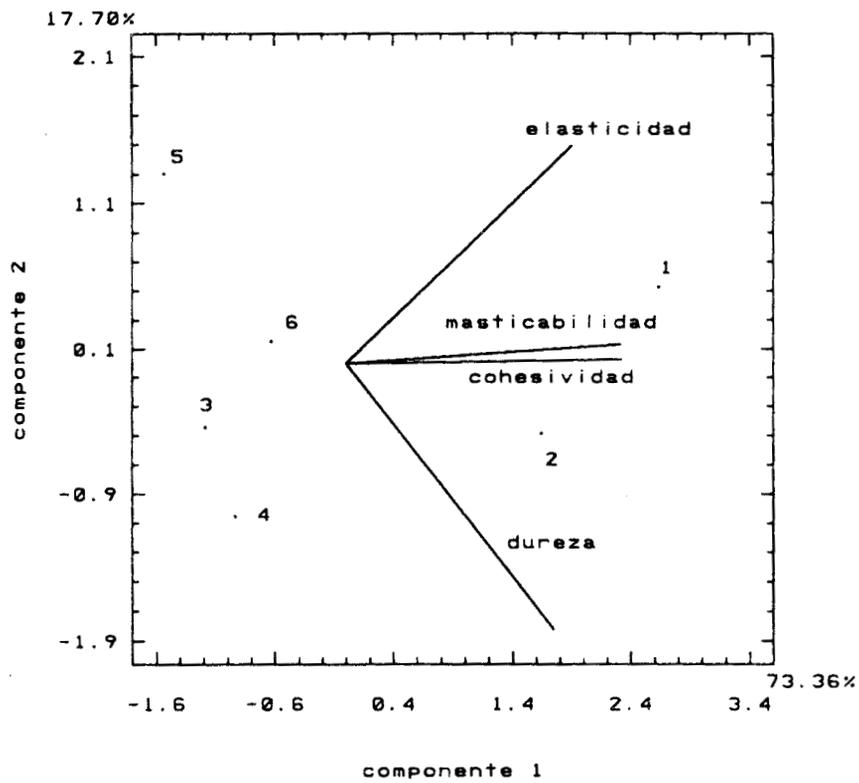


Figura 23. Diagrama de componentes principales de las características instrumentales de textura de los análogos preparados con Slendid. 1(0.0-0.36-0.64), 2(0.028-0.28-0.692), 3(0.056-0.20-0.744), 4(0.056-0.28-0.664), 5(0.028-0.228-0.744) y 6(0.042-0.247-0.711).

producto completo en grasa. El análogo 3(0.056-0.20-0.744), fue menos cohesivo y presentó masticabilidad y elasticidad más bajas que las del análogo de referencia (1). Las formulaciones 4(0.056-0.28-0.664) y 5(0.028-0.228-0.744) se encontraron alejadas del análogo completo en grasa, la primera por su alta dureza y bajas cohesividad y masticabilidad, y la segunda por presentar bajos valores de dureza, cohesividad y masticabilidad (figura 23).

El análisis de componentes principales llevado a cabo a las características de textura instrumentales de los análogos de queso que incluyeron Dairy-lo, señaló un primer componente que explicó el 89.83% de la varianza entre formulaciones, y estuvo representado por cohesividad, masticabilidad, elasticidad y dureza, todas ellas correlacionadas en forma positiva (figura 24). El segundo componente, responsable del 7.04% de la varianza entre análogos, estuvo conformado principalmente por elasticidad y dureza correlacionadas negativamente. De acuerdo a sus posiciones en el espacio bidimensional, el análogo 4(0.056-0.29-0.654), seguido por el 6(0.042-0.257-0.701), mostraron las características de textura instrumentales de mayor semejanza a las del producto completo en grasa (1), diferenciándose por valores menores de dureza, masticabilidad y cohesividad. El análogo 2(0.028-0.29-0.682), fue más blando y exhibió menores masticabilidad y cohesividad que la formulación de referencia. Las formulaciones 3(0.056-0.21-0.734) y 5(0.028-0.238-0.734), fueron las más alejadas del análogo completo en grasa, por presentar valores inferiores de dureza, cohesividad y masticabilidad, siendo el análogo 3 el más desfavorecido (figura 24).

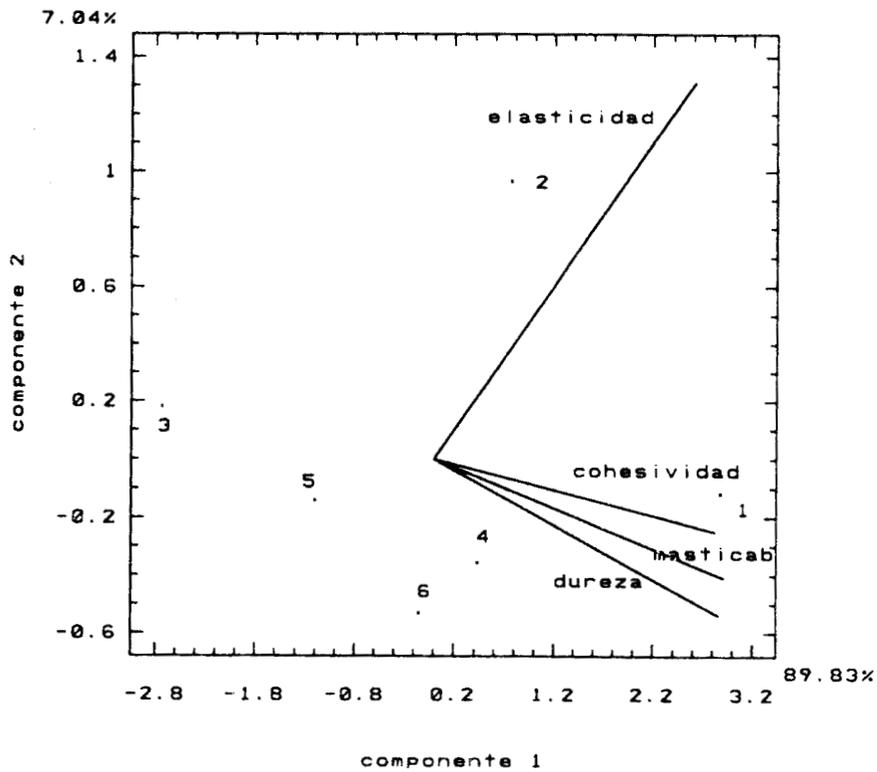


Figura 24. Diagrama de componentes principales de las características instrumentales de textura de los análogos preparados con Dairy-lo. 1(0.0-0.36-0.64), 2(0.028-0.29-0.682), 3(0.056-0.21-0.734), 4(0.056-0.29-0.654), 5(0.028-0.238-0.734) y 6(0.042-0.257-0.701).

7.2.8 Distribución de los análogos de queso en el espacio bidimensional de componentes principales, de acuerdo a sus características texturales sensoriales. El análisis de componentes principales realizado a las características de textura sensoriales de los análogos preparados con Slendid, indicó un primer componente que explicó el 50.69% de la varianza entre formulaciones, y estuvo constituido por firmeza, masticabilidad y cohesividad, relacionadas negativamente con recubrimiento bucal (figura 25). El segundo componente, responsable de 28.36% de la varianza entre análogos, estuvo integrado por elasticidad y adhesividad, correlacionados negativamente. Los análogos fueron perfectamente diferenciados por su composición, y su ubicación en el espacio bidimensional señaló que el análogo 6, preparado con relaciones de sustituto de grasa, grasa y humedad de 0.042-0.247-0.711 respectivamente, fue el de textura sensorial de mayor similitud a la del producto completo en grasa. Los análogos 2(0.028-0.28-0.692) y 3(0.056-0.20-0.744) se encontraron relativamente cerca del análogo de referencia (1); distinguiéndose el 2, por elevadas firmeza, masticabilidad y cohesividad, y el 3 por un recubrimiento bucal alto. Las formulaciones 4(0.056-0.28-0.664) y 5(0.028-0.228-0.744), se encontraron alejadas del análogo de referencia, al igual que en la determinación instrumental de textura, la primera por sus valores elevados de adhesividad y recubrimiento bucal, y la segunda por presentar bajos valores de firmeza, masticabilidad y cohesividad (figura 25).

El análisis de componentes principales aplicado a las características de textura sensoriales de los análogos preparados con Dairy-lo, señaló un primer componente que explicó el 75.66% de la varianza entre formulaciones, y estuvo constituido por firmeza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y adhesividad, relacionadas negativamente con

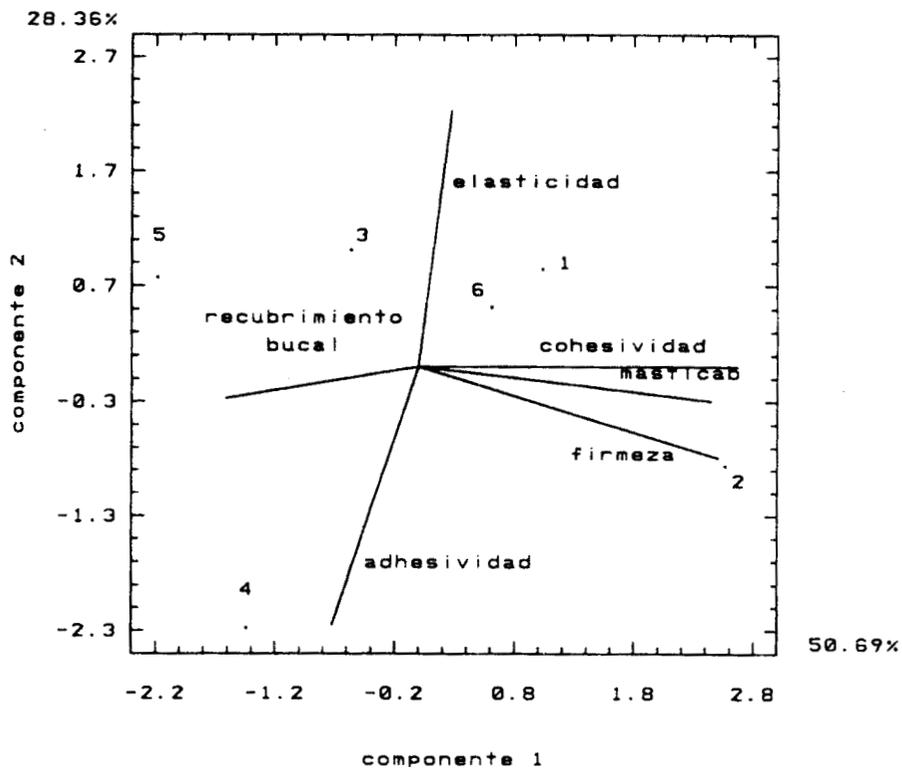


Figura 25. Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de textura de los análogos preparados con Slendid. 1(0.0-0.36-0.64), 2(0.028-0.28-0.692), 3(0.056-0.20-0.744), 4(0.056-0.28-0.664), 5(0.028-0.228-0.744) y 6(0.042-0.247-0.711).

recubrimiento bucal (figura 26). El segundo componente, responsable de 19.36% de la varianza entre análogos, estuvo integrado principalmente por recubrimiento bucal, adhesividad y masticabilidad relacionados en forma negativa con cohesividad y elasticidad. Los análogos fueron diferenciados por su composición y su ubicación en el espacio bidimensional señaló que el análogo 6, preparado con porcentajes de sustituto de grasa, grasa y humedad de 0.042-0.257-0.701 respectivamente, fue el de textura sensorial de mayor similitud a la del producto completo en grasa. El análogo 2(0.028-0.29-0.682) se encontró relativamente cerca del análogo de referencia (1), distinguiéndose, por elevadas cohesividad y elasticidad. Las formulaciones 3(0.056-0.21-0.734), 4(0.056-0.29-0.654) y 5(0.028-0.238-0.734), se encontraron alejadas del análogo de referencia. El análogo 3, mostró valores bajos en firmeza y adhesividad, mientras que el 4 presentó elevadas adhesividad, masticabilidad y firmeza; por su parte el análogo 5 fue el que exhibió mayor recubrimiento bucal (figura 26).

7.2.9 Representación gráfica de las características texturales de los análogos de queso con sustitutos. Al representar las características texturales de los análogos de queso mediante figuras poligonales, se observaron resultados consistentes con los arrojados por el análisis de componentes principales. Sensorialmente, la formulación con Slendid más parecida al análogo completo en grasa fue la 6(0.042-0.247-0.711) (figura 27 (a)) e instrumentalmente fue la 2(0.028-0.28-0.692) (figura 27(b)). La formulación 6, presentó valores ligeramente menores de dureza, masticabilidad, cohesividad y elasticidad instrumentales, que los mostrados por el análogo de referencia (1); sin embargo, sus características de textura parecieron guardar entre sí proporciones similares a las exhibidas en el análogo 1. La

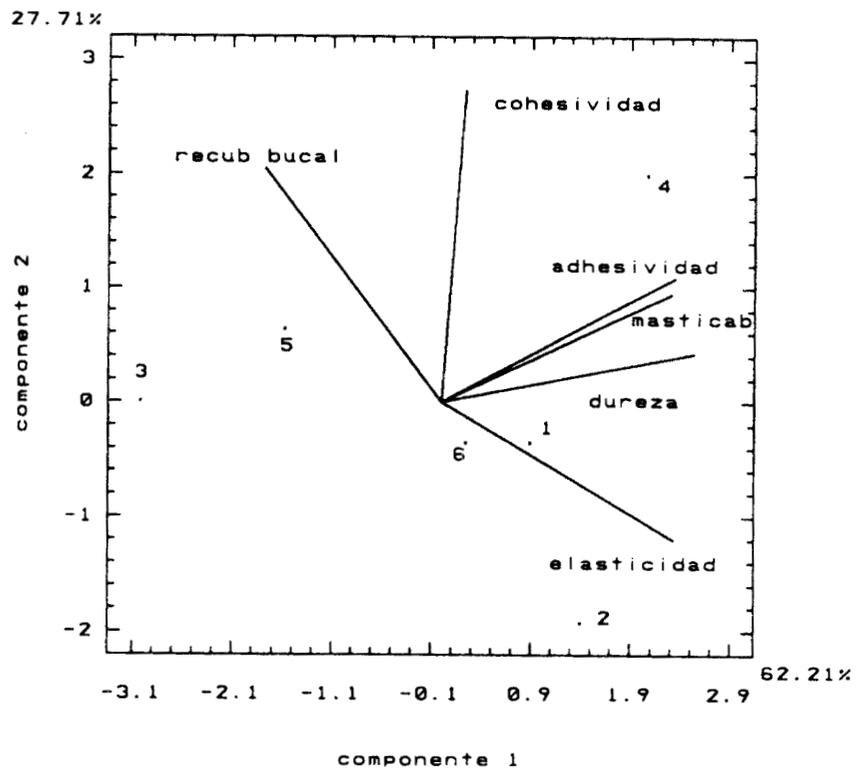


Figura 26. Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de textura de los análogos preparados con Dairy-lo. 1(0.0-0.36-0.64), 2(0.028-0.29-0.682), 3(0.056-0.21-0.734), 4(0.056-0.29-0.654), 5(0.028-0.238-0.734) y 6(0.042-0.257-0.701).

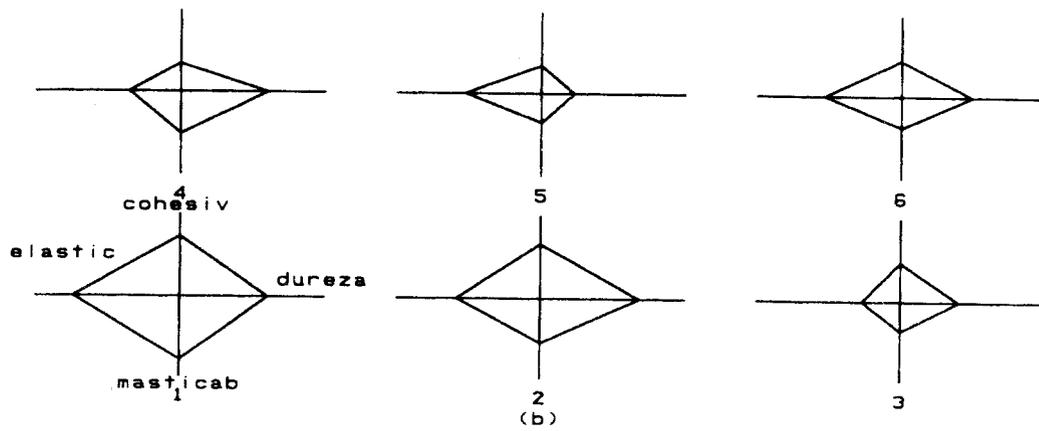
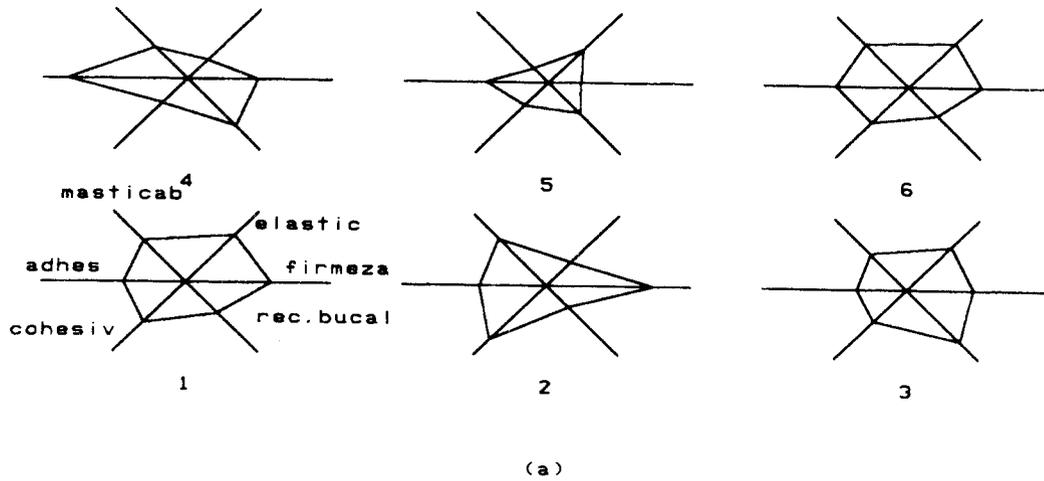


Figura 27. Representaciones poligonales de las características texturales sensoriales (a) e instrumentales (b) de los análogos preparados con Slendid. 1(0.0-0.36-0.64), 2(0.028-0.28-0.692), 3(0.056-0.20-0.744), 4(0.056-0.28-0.664), 5(0.028-0.228-0.744) y 6(0.042-0.247-0.711).

formulación 2(0.028-0.28-0.692), fue deficiente en las características sensoriales de recubrimiento bucal y elasticidad.

En las figuras poligonales de las características texturales sensoriales de los análogos preparados con Dairy-lo, se observó que la formulación 6(0.042-0.257-0.701), fue la que exhibió características sensoriales de textura más parecidas a las del análogo completo en grasa (1), siendo menor su firmeza y mayor su recubrimiento bucal (figura 28(a)). En relación a las características instrumentales, la formulación 4(0.056-0.29-0.654), seguida de la 6(0.042-0.257-0.701) fueron las más semejantes a la del análogo de referencia, pero presentaron valores menores en el total de dichas características (figura 28(b)).

7.2.10 Relación entre las medidas sensorial e instrumental de las características texturales de los análogos de queso elaborados con Slendid y Dairy-lo. El análisis de los componentes de los dos vectores, características texturales sensoriales e instrumentales de los análogos con Slendid, indicó que la relación entre éstos se debió fundamentalmente a la correlación entre la firmeza sensorial y la dureza instrumental de los análogos de queso (tablas 27 y 28).

Las posiciones relativas de las formulaciones en el diagrama de la primera función Canónica (figura 29) indicaron que la formulación que mostró la mayor afinidad con la del análogo completo en grasa fue la 6(0.042-0.247-0.711), seguida en orden decreciente por la 4(0.056-0.29-0.654) y la 2(0.028-0.28-0.692).

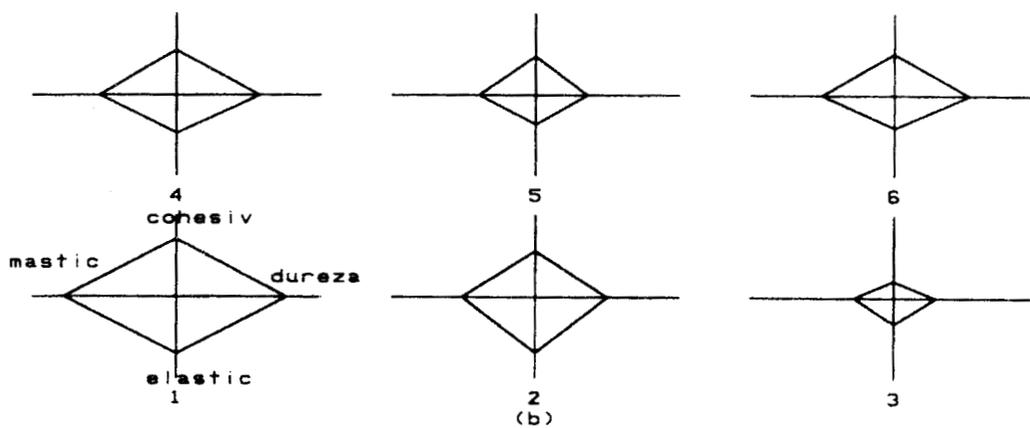
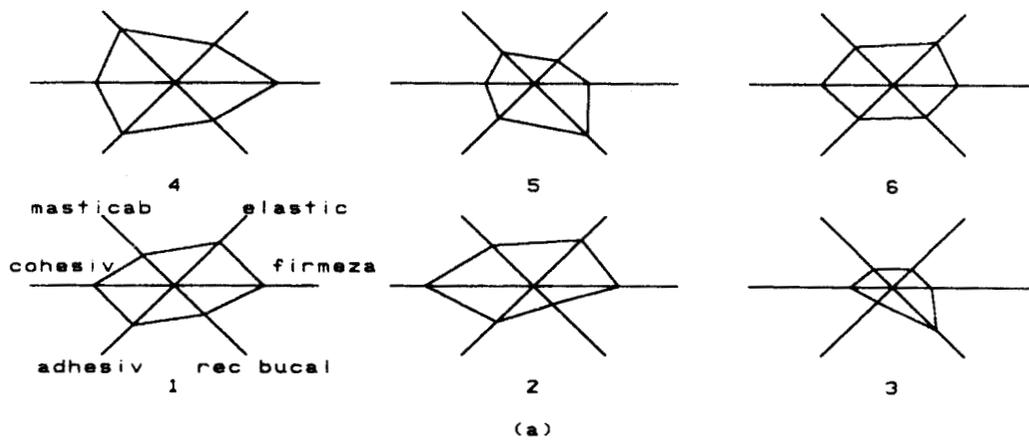


Figura 28. Representaciones poligonales de las características texturales sensoriales (a) e instrumentales (b) de los análogos preparados con Dairy-lo. 1(0.0-0.36-0.64), 2 (0.028-0.29- 0.682), 3 (0.056-0.21-0.734), 4 (0.056-0.29-0.654), 5 (0.028-0.238-0.734) y 6(0.042-0.257-0.701).

Tabla 27. Correlaciones Canónicas entre las características instrumentales y sensoriales de los análogos preparados con Slendid.

Número	Valor propio	Correlaciones Canónicas	Wilks Lambda	Chi-cuadrada	G.L	Nivel de significancia
1	1.0000	1.0000	0.0000	25.315	9	0.0026
2	0.9518	0.9756	0.0477	4.563	4	0.3352
3	0.0101	0.1004	0.9899	0.015	1	0.9019

Tabla 28. Coeficientes para las variables Canónicas de las características texturales de los análogos incorporados con Slendid.

Característica Textural	Coefficiente
Firmeza sensorial	-0.95760
Adhesividad sensorial	-0.51129
Cohesividad sensorial	0.18502
Dureza instrumental	-1.18782
Cohesividad instrumental	0.36318
Masticabilidad instrumental	0.00996

Tabla 29. Correlaciones Canónicas entre las características instrumentales y sensoriales de los análogos preparados con Dairy-lo.

Número	Valor propio	Correlaciones Canónicas	Wilks Lambda	Chi-cuadrada	G.L	Nivel de significancia
1	1.0000	1.0000	0.0000	47.827	9	0.0001
2	0.9030	0.9503	0.0970	3.500	4	0.4779
3	0.0000	0.0007	1.0000	0.000	1	0.9993

Tabla 30. Coeficientes para las variables Canónicas de las características texturales de los análogos incorporados con Dairy-lo.

Característica Textural	Coefficiente
Firmeza sensorial	-0.78506
Adhesividad sensorial	1.95964
Cohesividad sensorial	-1.02029
Dureza instrumental	-4.36249
Cohesividad instrumental	1.31053
Masticabilidad instrumental	3.11855

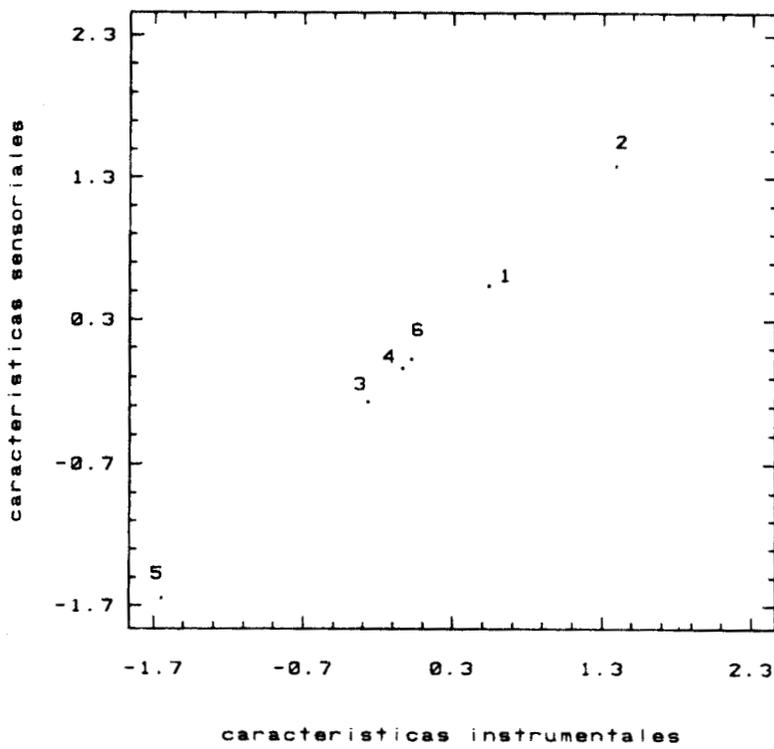


Figura 29. Diagrama de correlaciones canónicas entre las características sensoriales e instrumentales de textura de los análogos de queso elaborados con Slendid. 1(0.0-0.36-0.64), 2(0.028-0.28-0.692), 3(0.056-0.20-0.744), 4(0.056-0.28-0.664), 5(0.028-0.228-0.744) y 6(0.042-0.247-0.711).

El análisis de los componentes de los vectores correspondientes a las características texturales sensoriales e instrumentales de los análogos en los que se adicionó Dairy-lo, señaló que la relación entre éstos se debió fundamentalmente a la correlación negativa entre la adhesividad sensorial y la dureza instrumental de los análogos de queso (tablas 29 y 30).

Las posiciones relativas de las formulaciones en el diagrama de la primera función canónica (figura 30), indicaron que el análogo 6(0.042-0.247-0.711) mostró la mayor similitud con aquél completo en grasa, seguido por el 2(0.028-0.28-0.692).

VIII. DISCUSIÓN

8.1 Efecto del tipo de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.

La agregación de grasa observada en el análogo preparado con grasas de soya (figura 1(a)), indicó que el proceso de emulsificación no fue lo suficientemente prolongado para romper y dispersar la masa grasa en partículas finas (Shimp, 1985; Sutteerawattananonda y col., 1997). Una grasa que no ha sido sometida a algún tipo de esfuerzo, consiste en una red de cristales interconectados, los que se mantienen juntos mediante enlaces primarios y secundarios; los primeros originados por fuerzas de atracción de London-van der Waals.

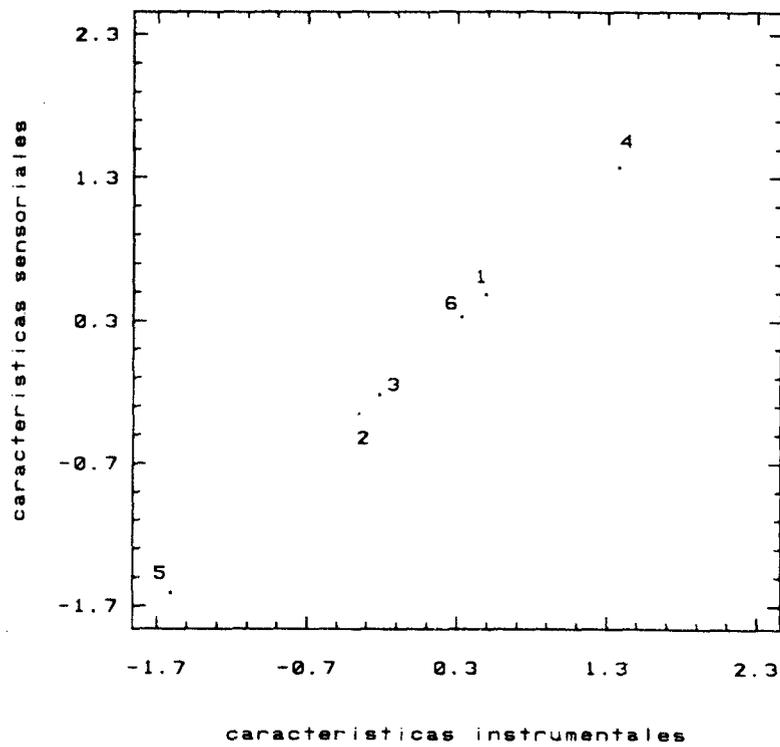


Figura 30. Diagrama de correlaciones canónicas entre las características sensoriales e instrumentales de textura de los análogos de queso elaborados con Dairy-lo. 1(0.0-0.36-0.64), 2(0.028-0.29-0.682), 3(0.056-0.21-0.734), 4(0.056-0.29-0.654), 5(0.028-0.238-0.734) y 6(0.042-0.257-0.701).

relativamente fuertes y los últimos originados por fuerzas de atracción de London-van der Waals débiles (Deman y Beers, 1987). El mezclado y calentamiento aplicados en el proceso de elaboración de los análogos de queso, causa ruptura de enlaces primarios de la red grasa, en adición a la destrucción de los enlaces secundarios. La grasa fundida forma partículas de varias micras de diámetro, las cuales son emulsificadas por la proteína, en este caso los caseinatos de sodio y potasio. El diámetro de las partículas de grasa está relacionado a la proporción de ruptura de enlaces, misma que depende de las fuerzas de corte aplicadas durante el proceso de elaboración, la composición en ácidos grasos y la estructura reticular de la grasa. Así, la grasa de soya constituida principalmente por ácidos grasos de más de 14 átomos de carbono, con un grado de saturación mayor que el del aceite soya, contiene más enlaces primarios que éste, resultando en cristales más grandes e irregulares.

La grasa butírica contiene los porcentajes más elevados de ácidos grasos saturados (70.6%) y de ácidos grasos de bajo peso molecular (9%); estos últimos reducen su carácter no polar y disminuyen las fuerzas de atracción no polares entre las partículas de grasa e incrementan su afinidad por la proteína que las rodea (figura 2(a)).

La movilidad de la grasa durante la manufactura de los análogos de queso, probablemente también influyó en la obtención de estructuras diferentes en las partículas de los tipos de grasas estudiados. Durante el proceso de emulsificación de la grasa de soya, su alta viscosidad obstaculiza su dispersión y el despliegue de la proteína alrededor de las partículas de grasa, requiriendo de un tiempo finito, al cual no se llega en un estado molecular

altamente congestionado, en el que cualquier reajuste configuracional es restringido severamente (Dickinson, 1992), resultando una distribución de tamaño de partícula no homogénea y polidispersa (figura 1(a)). En la preparación del análogo con aceite de soya, la movilidad de la fase dispersa es mayor que en los análogos con grasa butírica y grasa de soya, debido a la fluidez del aceite de soya y las viscosidades más altas de las grasas butírica y de soya; así una mayor movilidad en las interfases de un fluido, contribuye a una mejor oportunidad para el despliegue de la proteína sobre la superficie de las partículas de grasa, produciendo un proceso de emulsificación más eficaz, con la formación de partículas pequeñas y con una distribución más homogénea (figura 1(b)).

Cuando la grasa de soya se mezcló con grasa butírica y/o aceite de soya, la movilidad de la fase dispersa se incrementó y el tamaño medio de las partículas de grasa decreció (figuras 2(b), 3(b), 4(a y b) y 5 (a y b)).

Algunas micrografías, como las de los análogos de queso con aceite de soya y el preparado con grasa de soya-aceite de soya (0.5:0.5) (figuras 1(b), 2(b)), mostraron las cavidades donde las partículas de grasa estuvieron localizadas, en lugar de las partículas completas. En estos casos, la grasa pudo ser removida por los disolventes usados durante la preparación de las muestras para el análisis de su estructura (McMahon y col., 1996).

Se observaron estructuras filamentosas en las micrografías de las formulaciones con grasa de soya, grasa butírica y grasa butírica-aceite de soya (0.5:0.5) (figuras 1(a), 2(a) y 3(a)), las cuales parecieron formar parte de la proteína que cubrió las partículas de grasa. Estas

estructuras no fueron encontradas en las micrografías que no presentaron las partículas de grasa completas (figuras 1(b), 2(b), 4(a y b) y 5(a y b)). Las características estructurales de dichos filamentos no se relacionaron con aquellas exhibidas por sales de bajo peso molecular, tales como citrato de sodio, fosfato de sodio (Gennip, 1988) o lactato de calcio (Yiu, 1985). Las estructuras observadas en este estudio, fueron delgadas, alargadas, de diferentes longitudes, con puntas redondeadas, presentándose con frecuencia elevada, por lo que quizás estuvieron constituidas por caseinato de calcio.

Los modelos para dureza instrumental, firmeza sensorial y resistencia al corte, mostraron que la grasa de soya fue el componente graso que contribuyó mayoritariamente en sus magnitudes. Esto es posible, debido al hecho de que el número de partículas de grasa dispersas fue relativamente pequeño, en virtud de su gran tamaño medio. En consecuencia, existieron áreas con masa elevada de proteína por unidad (Hassan y Frank, 1997). Densidades altas de proteína en el queso han sido asociadas con valores elevados de dureza y firmeza (Bryant y col., 1995), puesto que la matriz proteínica es el componente estructural de los análogos de queso que les confiere la mayor resistencia a la deformación; una matriz más resistente con un grado menor de “enlaces débiles” puede desarrollarse a través de la formación de agregados tridimensionales de grasa interconectada y enlazados entre ellos por las moléculas de proteína, lo que permite una distribución más uniforme del esfuerzo (Rayan y col., 1980). También se ha informado que las grasas que contienen glicéridos constituidos por ácidos grasos de alto punto de fusión, tales como la grasa de soya, cristalizan en forma de agregados interconectados que confieren dureza al producto e incrementan su resistencia a la deformación (Heertje, 1993; Shukla y Rizvi, 1996). Pangborn y Eymery (1988) informaron

que conforme aumentaron la cantidad de grasa vegetal en la formulación de análogos de queso, su firmeza oral, resistencia sensorial al corte con cuchillo y mediante los incisivos, se incrementaron.

La estructura de los análogos elaborados con grasa butírica, mostraron una red de proteína con numerosos glóbulos de grasa, cuya estructura fue discontinua, teniendo un componente sólido que forma una capa cristalina exterior y un componente líquido en el interior, proporcionado por el aceite (Heertje, 1993). Se ha señalado que nunca una grasa es totalmente sólida y que sus propiedades físicas dependen de las proporciones entre las fases líquida y sólida, esta última constituida por cristales microscópicos de triglicéridos (Formo y col., 1979). La combinación de ambos componentes explica porque la dureza y la firmeza del análogo preparado con grasa butírica estuvo entre aquellas proporcionadas por la grasa de soya y el aceite de soya.

La incorporación de aceite de soya resultó en el análogo de queso con el menor tamaño de partículas de grasa, fue el tipo de grasa que menos contribuyó a las características de firmeza sensorial y dureza instrumental de los análogos. La gran cantidad de partículas de grasa individualmente dispersas interrumpió la continuidad de la matriz de proteína, causando la creación de “espacios débiles”, mediante la interferencia de la formación de enlaces entre las cadenas de proteína (Hassan y Frank, 1997), resultando en una menor densidad proteínica y una estructura menos rígida (Marshall, 1990). Baer y col. (1996) encontraron que un incremento en los niveles de ácidos grasos insaturados en la grasa usada para elaborar queso bajo en grasa, produjo un tamaño más pequeño de partículas grasas, lo cual mejoró las

propiedades reológicas del producto. La formación de numerosas partículas pequeñas de grasa, ha sido relacionada con quesos suaves, ya que reduce el efecto de la matriz de proteína sobre la textura del producto a través de una mayor discontinuidad en su estructura (Metzger y Mistry, 1995), y al estado predominantemente líquido de la fase dispersa.

Las mezclas de grasas tuvieron, en términos generales, efecto negativo sobre la matriz proteínica, principalmente a través de la formación de una estructura muy heterogénea debida a la diversidad en el tamaño de las partículas de grasa y en su distribución, lo cual permite la formación de “espacios débiles”; de esta manera los análogos de queso muestran un decremento en su resistencia a la deformación. En forma general, se puede decir que la incorporación de mezclas de distintos tipos de grasas en la elaboración de análogos de queso, tuvo como efecto el de disminuir la magnitud de sus características texturales, relacionado con una estructuración interna menos ordenada.

Los modelos para elasticidad instrumental y sensorial indicaron que la grasa butírica y el aceite de soya fueron los componentes grasos que más contribuyeron a dichas características texturales de los análogos de queso. Lo anterior, debido probablemente al menor carácter no polar de estos tipos de grasa comparado con el de la grasa de soya, lo cual favorece la adsorción de la proteína alrededor de las partículas de grasa, proporcionando al producto de mayor flexibilidad y recuperación después de que el esfuerzo es retirado. Marshall (1990), informó que un tamaño de partículas de grasa más pequeño en los análogos de queso estuvo asociado con un producto más elástico. Esto quizás porque conforme el tamaño de las partículas de grasa disminuye, la cantidad de fase continua atrapada por la fase dispersa es

mayor, tendiendo a proporcionar un efecto amortiguador a través de la formación de una estructura reticulada favorecida por enlaces proteína-proteína entre partículas de grasa emulsificadas. Kalab (1979) y Marshall (1990), informaron que diferencias encontradas en la textura de queso y sus análogos, pudo estar relacionada a la forma en que la grasa y la proteína se distribuyeron.

La grasa y aceite de soya confirieron valores más elevados de sensación bucal a los análogos de queso, en comparación con la grasa butírica, probablemente debido a la cubierta bucal producida por cada tipo de grasa, de acuerdo a su punto de fusión. Szczesniak (1963a), indicó que la sensación bucal de un producto alimenticio está altamente correlacionada con el contenido y punto de fusión de su componente graso, debido al recubrimiento que este último ejerce sobre la cavidad bucal. De esta forma, cuando se mezclaron grasa de soya con el punto de fusión más alto, con aceite de soya con el punto de fusión más bajo, el efecto sobre esta característica sensorial fue negativo.

La cremosidad producida por la grasa de soya fue la menor, debido a su alto punto de fusión y gran tamaño de partícula; mientras que las partículas de grasa de soya y aceite de soya, más pequeñas y en mayor número, confirieron una cremosidad más elevada a los análogos de queso (Metzger y Mistry, 1995). Las mezclas de grasas de muy diferentes puntos de fusión (0.5b-0.5a y 0.5s-0.5a), mejoraron la cremosidad de los análogos de queso, posiblemente por diferencias en la velocidad de fundido de la grasa y los distintos tamaños de partículas de grasa percibidos en la boca.

La mezcla de grasa y aceite de soya en proporciones iguales, impartió características sensoriales de textura similares a las que proporciona la grasa butírica. Este tratamiento al estar exento de grasa butírica, es virtualmente libre de colesterol, lo que lo convierte en un alimento más apto para personas con restricciones dietéticas habituales a consecuencia de hipercolesterolemia.

El ACP señaló que el uso de distintos tipos de grasas en la elaboración de los análogos de queso, provocó que éstos variaran principalmente en su dureza, correlacionada negativamente con su elasticidad y cohesividad instrumentales. A su vez, las características sensoriales que diferenciaron a los análogos, fueron firmeza, resistencia al corte y sensación bucal, las cuales estuvieron correlacionadas negativamente con elasticidad y cremosidad. Jack y col., (1993), estudiaron la relación entre Reología, composición y textura percibida por los consumidores en queso Cheddar e informaron que la discriminación sensorial de textura entre los quesos, estuvo basada en términos de cremosidad, acuosidad y suavidad en oposición a términos tales como dureza, sequedad y desmoronamiento.

La dureza y firmeza de los análogos en correlación negativa con la cohesividad instrumental y cremosidad sensorial, respectivamente, fueron las características que permitieron la mejor relación entre los dos métodos de determinación de la textura de los análogos de queso. Perry y Carroad (1980), informaron que la principales características, instrumental y sensorial, que determinaron la calidad del queso, fueron dureza y firmeza, respectivamente.

La formulación 6, integrada con grasa de soya y aceite de soya (0.5:0.5), fue la que mostró la posición más cercana a la del análogo elaborado con grasa butírica, en el diagrama de la primera correlación canónica. Dicha formulación 6, representa una alternativa viable para la sustitución de grasa butírica en la elaboración de un producto análogo de queso, con características texturales similares a las impartidas por la grasa butírica, con la ventaja de presentar una reducción aproximada del 98.3% del colesterol aportado por la grasa butírica.

8.2 Efectos de sustitutos de grasa sobre la microestructura y características texturales de análogos de queso.

De las formulaciones de análogos incorporadas con Dairy-lo, solo la 3(0.056-0.21-0.734) mostró un valor más alto de proteína y uno menor de grasa, en relación con los exhibidos por el análogo de referencia 1(0.0-0.36-0.64). El aumento en el contenido de proteína de este análogo se debió a la contribución del sustituto Dairy-lo, constituido por 35% de proteína (Drake y col., 1996a); y su menor contenido graso estuvo relacionado con la proporción de fracción grasa incorporada en su formulación. El rango de variación fijado para el contenido de humedad de los análogos, fue lo suficientemente estrecho para que no se apreciaran diferencias entre las diferentes formulaciones. El pH no presentó variaciones entre los análogos, debido a que todos ellos se les adicionó la misma cantidad de ácido láctico.

El efecto de la adición de Slendid sobre la composición de los análogos de queso, fue distinto al de Dairy-lo; las formulaciones difirieron en sus valores de humedad, pero no en los

de proteína. Slendid es un sustituto de grasa que no aporta proteína, por ser un hidrocoloide que consiste principalmente de ésteres de ácido poligalacturónico parcialmente metilados (Química Hércules, 1994). El agua presente en los análogos 3(0.056-0.20-0.744) y 5(0.028-0.228-0.744) fue mayor que la contenida en el análogo de referencia, ya que la reducción de grasa, se compensó con agua y sustituto. Slendid fue capaz de retener un porcentaje de humedad de hasta 45.9% (análogo 3), por ser un polisacárido capaz de ligar grandes cantidades de agua, a través de la formación de una matriz semejante a la de un gel (Clark, 1994; Singhal y col., 1991).

La grasa vegetal incorporada en el análogo completo en grasa (0.0-0.36-0.64) (figura 12(a)) y en aquél reducido en grasa (0.0-0.17-0.83) (figura 12(b)), formó grupos esféricos de cristales en forma de agujas, aparentemente en la modificación β , probablemente como resultado de la interacción entre los glicéridos, con ácidos grasos de alto punto de fusión, de la grasa de soya (Larsson, 1986). El rango de variación en el diámetro de las partículas de grasa de ambos análogos, 4-10 μm , fue relativamente estrecho, como consecuencia de la acción de las sales emulsificantes integradas en su formulación y el calentamiento y la agitación aplicados en su preparación (Caric y col., 1985; Shimp, 1987; Mistry y Anderson, 1993). Los agregados de partículas de grasa en el análogo completo en grasa, fueron delimitados y estabilizados por la proteína que los recubrió, y se distribuyeron más o menos uniformemente en la matriz proteínica (Tamime y col., 1990). Las partículas de grasa en el análogo reducido en este componente fueron menos numerosas que en el producto completo en grasa, lo que provocó que se encontraran menos agregadas (Mistry y Anderson, 1993; Anderson y Mistry,

1994). Heertje (1993), menciona que la cristalización de la grasa puede favorecer la formación de “puentes” entre partículas grasas en una emulsión, y la cercanía entre dichas partículas en el análogo completo en grasa pudo acentuar este fenómeno.

La presencia de un número menor de partículas de grasa, provocó mayor interacción entre las cadenas de proteína en el análogo reducido en grasa, de tal forma que en algunas zonas la apariencia de la matriz proteínica fue muy compacta y densa (Stampanoni y Noble, 1991, McMahon y col., 1993; Oberg y col., 1993; Bryant y col., 1995; McMahon y col., 1996). Sin embargo, la gran cantidad de agua incorporada en este análogo, originó la formación de canales de este líquido, que interrumpieron la continuidad de la matriz proteínica (Kimber y col., 1974; McMahon y col., 1996).

El tamaño tan pequeño de las partículas de grasa en los análogos elaborados con Slendid, 0.3 a 1.0 μm y sus distribución en forma de entidades individuales (figuras 13 (a y b) y 14(a)), en comparación con lo observado en el análogo completo en grasa (figura 12(a)) y el reducido en grasa sin sustituto (figura 12(b)), parecen indicar que aumentó la eficiencia del proceso de emulsificación al incorporar Slendid en la formulación de los análogos. La pectina, principal constituyente de Slendid, pudo actuar como agente secuestrante de calcio, formando moléculas de pectinato de calcio (Heertje, 1993), confiriendo así a las fracciones α s y β de los caseinatos, una mayor estabilización y solubilización, mismas que provocaron un aumento en su capacidad emulsificante. Las partículas poliédricas de gel de Slendid, de longitud máxima cercana a 8 μm (figura 13(b)), se encontraron adheridas a la matriz de proteína, posiblemente a

través de interacciones electrostáticas entre las cargas negativas de los iones carboxilato de la pectina y las áreas de la κ -caseína cargadas positivamente (Heertje, 1993). La gran actividad ligante de agua de Slendid (Lucca y Tepper, 1994), provocó la formación de profundos canales de agua, que proporcionaron discontinuidad a la matriz de proteína (figura 14(a)); asimismo el tamaño relativamente grande de las partículas de este sustituto, disminuyó la fusión de las cadenas de proteína (McMahon y col., 1996), obteniéndose en los análogos una matriz de apariencia abierta y relajada, semejante a la de una esponja.

Las partículas de grasa de los análogos conteniendo Dairy-lo (figuras 14(b) y 15), se presentaron totalmente recubiertas por proteína, y exhibieron un rango en tamaño, 1.5-5 μm , menor que el observado en los análogos de queso completo en grasa (figura 12(a)) y reducido en grasa sin sustituto (figura 12(b)), siendo además más numerosas que en éstos. Estos resultados evidenciaron la actividad emulsificante de Dairy-lo, misma que es consecuencia del desdoblamiento y exposición de las regiones hidrofobas e hidrofílicas de las proteínas de suero lácteo, cuando son sometidas a ultrafiltración y desnaturalización térmica controlada (Steventon y col., 1991; Morr, 1992; Kneifel y Seiler, 1993; Lucca y Tepper, 1994). En las micrografías correspondientes a los análogos de queso con Dairy-lo, no fue posible identificar la presencia de este sustituto, por tratarse de un ingrediente no particulado entremezclado con las proteínas del queso, indistinguible al nivel de resolución del microscopio electrónico de barrido y bajo la cubierta de metal aplicada a la muestra (McMahon y col., 1996; Drake, 1996a). La β -lactoglobulina de Dairy-lo pudo unirse a la κ -caseína presente en la fracción proteínica de los análogos, a través de puentes disulfuro; se ha informado que la agregación de

dichas proteínas es limitada por la κ -caseína, en forma similar a su actividad como coloide protector y determinante en el tamaño de las micelas de caseína (Heertje, 1993). El carácter anfifílico de Dairy-lo, originó la formación de canales de agua en diversas zonas de la matriz de proteína, a través de la retención de agua en el producto (McMahon y col., 1996; Drake y col., 1996a); aunque estos canales fueron de menor tamaño y menos frecuentes que en los análogos elaborados con Slendid (figura 14(a)). La matriz de proteína de los análogos con Dairy-lo fue más abierta y relajada que la de los análogos completo en grasa y reducido en este componente (figuras 12(a y b)), pero mostró mayor compactación que la de los análogos con Slendid (figura 13(a)).

Los modelos obtenidos para la dureza y la masticabilidad de los análogos en función de sus contenidos en Simplese, grasa y humedad, mostraron imposibilidad para diseñar formulaciones con reducciones de grasa y aumentos en la humedad, que permitieran obtener valores en estas características texturales, que fueran semejantes a los mostrados por el análogo completo en grasa. Se ha informado que la PMP forma una fase dispersa en los alimentos, la cual suaviza la red de proteína (Lucca y Tepper, 1994); sin embargo, al reemplazar la grasa del queso básicamente por agua en este estudio, la acción suavizante de Simplese no es tan importante, como la de su participación en la estructuración de una red que sea capaz de ligar mayores cantidades de agua y que muestre una estructura más ordenada que imparta resistencia a la deformación al producto. McMahon y col. (1996), informaron que Simplese formó micropartículas esféricas, demasiado pequeñas (0.1-2 μm) para influir en el tamaño de los canales de suero y por tanto en la apertura de la estructura del queso Mozzarella

bajo en grasa. Con base en los resultados antes expuestos, se eliminó Simplese de las fases posteriores de la investigación, y se procedió al establecimiento de las formulaciones de análogos bajos en grasa, incorporados con Slendid y Dairy-lo, que tuvieran, muy probablemente, un comportamiento textural cercano al del análogo de referencia. Posteriormente, los valores de las características texturales de estas formulaciones finales, se sometieron a análisis estadístico.

Los modelos que describieron la dureza instrumental y la firmeza sensorial de los análogos de queso preparados con Slendid, indicaron que la cantidad de agua incorporada en la formulación de los análogos en forma individual, causó ablandamiento en el producto (Metzger y Mistry, 1995) debido a una mayor apertura de la red proteínica por la formación de canales de agua, y a la acción lubricante o plastificante de este líquido entre las cadenas de proteína (Tunick y col., 1991). Sin embargo, el efecto individual del agua, fue contrarrestado en gran medida por la interacción sustituto-agua. Slendid, formó partículas de gel, que estabilizaron grandes cantidades de agua, (Clark, 1994; Singhal y col., 1991), e incrementaron la rigidez de los análogos (Sanderson 1981). El fenómeno antes mencionado fue evidente en los valores más elevados de dureza instrumental y firmeza sensorial de la formulación 3 (0.056 de sustituto), en comparación con la 5 (0.028 de sustituto), a pesar de que contuvieron la misma proporción de agua (0.744). Asimismo, los análogos que incluyeron los contenidos más bajos de humedad 2(0.692) y 4(0.664), fueron los que opusieron más resistencia a la deformación, al presentar zonas de proteína de mayor densidad.

Los modelos que describieron a la dureza instrumental y firmeza sensorial de los análogos incorporados con Dairy-lo, señalaron a la grasa y a la humedad, como los componentes que principalmente proporcionaron estas características texturales. La influencia de la grasa fue notoria en estos análogos, en contraste con lo encontrado en los análogos formulados con Slendid; posiblemente debido a que el tamaño de las partículas grasas en los análogos con Dairy-lo, fue aproximadamente cinco veces mayor que los observados en los análogos preparados con Slendid. En estos últimos, el papel estructural de la grasa y su influencia sobre la textura del producto se redujeron (Shimp, 1987). Al incrementar la cantidad de fracción grasa en la formulación de los análogos que incluyeron Dairy-lo, se observó un mayor número de partículas grasas, las cuales se encontraron perfectamente cubiertas con caseinatos y proteínas de suero, en este estado de emulsificación de la grasa, pueden ocurrir interacciones fuertes entre las cadenas de proteína cercanas, localizadas en la interfase grasa-agua (Kalab, 1993), formándose una estructura continua de gel (Jost y col., 1989), que confiere mayor consistencia al producto. McMahon y col. (1996), informaron que el uso de Dairy-lo en la preparación de quesos reducidos en grasa, no provocó mayor holgura en la matriz de proteína y que su capacidad ligante de agua fue limitada al no constituir un ingrediente particulado; sin embargo, mencionan que la posible unión entre la β -lactoglobulina de Dairy-lo con la κ -caseína de la leche, pudo haber reducido la sinéresis de la cuajada. La baja capacidad ligante de agua de Dairy-lo, puede explicar el que no se obtuvieran mayores valores de dureza instrumental y firmeza sensorial en la formulación 3 integrada con 0.056 de sustituto y 0.734 de agua, en relación a la formulación 5 con 0.028 de sustituto y 0.734 de

humedad; por el contrario el contenido graso de ambas formulaciones sí influyó: 3(0.21) y 5(0.234).

En general, los análogos elaborados con Slendid exhibieron mayor dureza instrumental y firmeza sensorial que aquellos en los que se usó Dairy-lo; estos resultados son acordes a los informados por Drake y col. (1996a) en quesos reducidos en grasa, adicionados con un sustituto de base sacárida: Novagel (celulosa microcristalina, goma guar y carragenina) y con dos sustitutos a base de proteína de lactosuero: ALACO PALS y Dairy-lo.

La cohesividad instrumental y sensorial, de los análogos de queso reducidos en grasa en los que se usó Slendid como sustituto, fueron descritas por modelos que indicaron fundamentalmente un efecto negativo del agua sobre estas características, en contraparte con uno positivo debido a la interacción sustituto-humedad, en forma similar a los modelos obtenidos para la dureza y la firmeza de estos análogos. Bryant y col. (1995), definen la cohesividad del queso como la extensión en la cual puede deformarse antes de llegar a la ruptura, y mencionan que la formación de una matriz de proteína más compacta favorece esta característica textural. La presencia de canales de agua en los análogos conteniendo Slendid, disminuyó la densidad de la matriz proteínica, pero la formación de agregados de partículas de gel de pectina que ligaron grandes cantidades de agua, disminuyeron la susceptibilidad del producto al desmoronamiento (Drake y col., 1996). De esta manera, las formulaciones que presentaron los valores más bajos de cohesividad fueron la 4(0.056-0.28-0.664) y la 5(0.028-0.338-0.744); en la primera, la poca cantidad de agua adicionada quizás limitó el poder gelificante de Slendid, del cual se ha informado que es capaz de retener agua en una

proporción equivalente a 50 veces su peso (Química Hércules, 1994). Por el contrario, en la formulación 5, la baja cantidad de sustituto pudo ser insuficiente para lograr ligar la alta proporción de agua incorporada.

La cohesividad instrumental de los análogos en los que se empleó Dairy-lo, fue influenciada en forma importante por sus contenidos en grasa y humedad, en forma semejante a su dureza instrumental. La formación de partículas de grasa interconectadas mediante algunas de las cadenas de proteína que las recubrieron, posiblemente confirieron a estos análogos una estructura más ordenada y de mayor resistencia (Bryant y col., 1995). El agua además de formar parte de la interfase grasa-agua, donde posiblemente se llevaron a cabo las interacciones proteína-proteína, pudo actuar como lubricante entre las partículas de grasa y la matriz proteínica (Green y col., 1981). Con base a lo anterior se puede explicar porque las formulaciones 2(0.028-0.29-0.682) y 4(0.056-0.29-0.654), que tuvieron los mayores contenidos de grasa, mostraron los valores más elevados de cohesividad; mientras que la formulación 3(0.056-0.21-0.734) con la menor cantidad de grasa, presentó el valor más bajo de esta característica textural; resultados acordes a lo informado por Stampanoni y Noble (1991).

Los modelos que definieron el comportamiento de la masticabilidad instrumental de los análogos con Slendid y Dairy-lo, señalaron a la grasa como el componente que más influyó en su valor. Como ya se mencionó, el uso de estos sustitutos contribuyó a la emulsificación de la grasa en partículas más pequeñas, favoreciéndose las interacciones proteína-proteína en la matriz de los análogos y las ocurridas en la interfase grasa-agua; por el contrario, al disminuir

la grasa el efecto de la humedad sobre la formación de áreas más grandes de agua, disminuyó la masticabilidad de los análogos. Masi y Addeo (1986), informaron que el comportamiento mecánico del queso depende principalmente de la resistencia a la deformación de la matriz de caseína, y factores tales como grasa, humedad o contenido mineral, alteran su capacidad de deformación e influyen considerablemente sobre su comportamiento mecánico

El recubrimiento bucal de los análogos bajos en grasa con Slendid y Dairy-lo, medido como la sensación que ordinariamente proporcionan las grasas en la cavidad bucal en la fase residual de la masticación, estuvo relacionado con sus contenidos de sustituto y humedad, y se redujo parcialmente a través de la interacción sustituto-humedad. Los sustitutos de grasa se distribuyeron tanto en los canales de agua, como en la matriz proteínica de los análogos (McMahon y col., 1996); en el primer caso disminuyeron la sensación bucal impartida por los análogos. Por el contrario, cuando estos ingredientes formaron una fase dispersa distinta: Slendid en la forma de micropartículas de gel y Dairy-lo, probablemente en la de agregados de proteína de lactosuero (Morr, 1992), su contribución a la sensación bucal de los análogos fue favorable (Clark, 1994; Lucca y Tepper, 1994).

La adhesividad a los labios, de los análogos con Slendid, estuvo definida principalmente por sus contenidos de grasa y humedad. Por una parte, la grasa de soya componente de esta fracción en los análogos, puede explicar en parte el aumento en la adhesividad de los análogos al incrementar su contenido graso, ya que este componente graso fue el único que mostró adhesividad. Por otra parte, la grasa se encontró en la forma de pequeñas partículas que disminuyeron la continuidad de la matriz proteínica, en conjunto con

las áreas en las que predominó el agua; restando de esta manera lisura y compactación a la red proteínica, características estructurales que se han relacionado con reducciones en la adhesividad del queso (Bryant y col. 1995).

El ACP señaló que modificaciones en los contenidos de Slendid o Dairy-lo, grasa y humedad en la formulación de análogos de queso, provocó que éstos variaran principalmente en sus características de cohesividad, masticabilidad, elasticidad y dureza instrumentales, todas ellas relacionadas en forma positiva. Szczesniak (1990), menciona que cambios en la intensidad de una característica textural de un alimento, comúnmente repercute en modificaciones en otras de las características texturales.

Las características sensoriales que diferenciaron a los análogos preparados con Slendid fueron firmeza, masticabilidad y cohesividad relacionados negativamente con recubrimiento bucal. En el caso de las formulaciones preparadas con Dairy-lo, también recubrimiento bucal fue la característica que varió en sentido contrario a firmeza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y adhesividad. Diversos investigadores han estudiado los efectos de la composición en el queso sobre su textura, encontrando que la reducción de su contenido en grasa y aumento en el de proteína (caseína), estuvieron asociados con incrementos en la rigidez, la cohesividad y la masticabilidad del producto; mientras que contenidos altos en humedad y grasa resultaron en quesos suaves y flexibles (Chen y col., 1979; Green y col., 1981; Yang y Taranto, 1982; Parnell y col., 1985; Massi y Adeo, 1986; Glicksman, 1991; Tunick y col. (1991; Stampanoni y Noble, 1991).

El análisis de los componentes de los dos vectores, características texturales sensoriales e instrumentales de los análogos con Slendid, indicó que la relación entre éstos se debió fundamentalmente a la correlación entre la firmeza sensorial y la dureza instrumental de los análogos de queso. Ya se mencionó que la principales características, instrumental y sensorial, que determinan la calidad del queso, son la dureza y la firmeza, respectivamente (Perry y Carroad, 1980).

La formulación 6 integrada con proporciones de: 0.042 de Slendid, 0.247 de grasa y 0.711 de humedad, fue la que se ubicó más cerca de la del análogo completo en grasa, en el diagrama de la primera correlación canónica. Esta formulación 6, representa una alternativa en la reducción del 31.4% de la grasa del análogo de referencia, exhibiendo además textura similar.

La relación entre las características texturales sensoriales e instrumentales de los análogos en los que se adicionó Dairy-lo, se debió principalmente a la dureza y masticabilidad instrumentales y a la adhesividad y cohesividad sensoriales. Conforme se incrementó la dureza instrumental y la adhesividad sensorial de los análogos, menor fue su cohesividad instrumental; sin embargo la cohesividad sensorial varió en sentido contrario a la determinada instrumentalmente. El comportamiento antagónico entre estas dos mediciones de cohesividad, probablemente fue resultado de la agudeza de los molares y gran velocidad de mordida, en comparación con la forma de la placa compresora y velocidad aplicadas por el equipo (Bryant y col., 1995).

Las posiciones relativas de las formulaciones en el diagrama de la primera función Canónica, indicaron que el análogo 6(0.042-0.257-0.701) mostró la mayor similitud textural con aquél completo en grasa, significando un contenido de grasa menor en 28.6%.

IX. CONCLUSIONES

- El grado de emulsificación de los distintos tipos de grasa y sus combinaciones fue distinto, observándose variaciones en el tamaño, morfología y distribución de las partículas de grasa en la matriz proteínica; factores que causaron en esta última, modificaciones en su apertura y densidad.

- El tipo de grasa usado en la formulación de los análogos de queso influyó en sus características texturales sensoriales e instrumentales. Los análogos elaborados con una proporción importante de grasa de soya, exhibieron los valores mayores de firmeza y dureza, pero los más bajos de cohesividad, elasticidad y cremosidad; características que estuvieron asociadas con la formación de agregados tridimensionales de grasa interconectada y enlazados entre ellos por moléculas de proteína, permitiendo una distribución más uniforme del esfuerzo. Por el contrario, la incorporación de proporciones elevadas de aceite de soya y grasa butírica, resultó en análogos menos firmes, pero con mayor cohesividad, elasticidad y cremosidad; comportamiento textural que estuvo relacionado con una red de proteína discontinua, con numerosos glóbulos de grasa, que crearon “espacios débiles” y una estructura proteínica más

distendida y reticulada. La incorporación de mezclas de distintos tipos de grasas en la elaboración de análogos de queso, tuvo como efecto el de disminuir el predominio de los componentes puros, tendiendo a presentar aquél correspondiente a la mezcla, a través de una estructuración interna menos ordenada.

- Se establecieron modelos que permiten la estimación de dureza instrumental, firmeza sensorial, resistencia al corte y cremosidad de los análogos de queso, en función de las concentraciones de los distintos tipos de grasas estudiados.

- Las características que permitieron la mejor relación entre los dos métodos de determinación de la textura de los análogos de queso integrados con diferentes grasas, fueron la dureza y la firmeza de los análogos en correlación negativa con la cohesividad instrumental y la cremosidad sensorial, respectivamente.

- La combinación grasa de soya y aceite de soya (0.5:0.5), representó una alternativa viable para la sustitución de grasa butírica en la elaboración de un producto análogo de queso, de características texturales similares a las impartidas por la grasa butírica.

- La reducción de grasa y su reemplazo por agua, resultaron en un producto cuya estructura se caracterizó por menor número de partículas de grasa, en comparación con las observadas en el análogo completo en grasa, y una matriz proteínica que exhibió tanto la presencia de profundos canales de agua, como la de algunas zonas de compactación proteínica.

- Los sustitutos de grasa estudiados afectaron en diferente forma la microestructura de los análogos bajos en grasa. Los productos que contuvieron Slendid, mostraron una matriz de proteína interrumpida por la presencia de partículas de grasa muy pequeñas, así como por partículas poliédricas de gel péctico y profundos canales de agua; adquiriendo la apariencia de una esponja. Por su parte, los análogos que incluyeron Dairy-lo presentaron una red de proteína en la que se encontraron dispersas partículas de grasa totalmente cubiertas por proteína, de tamaño intermedio a las observadas en el análogo completo en grasa y en las formulaciones con Slendid; los canales de agua apreciados en los análogos con Dairy-lo fueron de menor tamaño y menos frecuentes que en los análogos elaborados con Slendid. No fue posible identificar la posición del sustituto Dairy-lo en la estructura de los análogos.

- La dureza instrumental, la firmeza sensorial y la cohesividad tanto instrumental como sensorial de los análogos formulados con Slendid, fueron determinadas en gran medida por la interacción sustituto-humedad, la que originó la formación de partículas de gel que estabilizaron grandes cantidades de agua e incrementaron la resistencia a la deformación de la matriz de proteína; el papel estructural de la grasa no fue importante sobre los valores de estas características, debido al tamaño muy reducido de sus partículas. En el caso de los análogos elaborados con Dairy-lo, la definición de sus características de dureza instrumental, firmeza sensorial y cohesividad instrumental, estuvo influenciada marcadamente por su contenido graso, como resultado de la presencia de partículas de grasa de un tamaño alrededor de cinco veces mayor a los observados en las formulaciones integradas con Slendid; estas partículas, cuyo número se incrementó con aumentos en la cantidad de grasa adicionada, estuvieron

perfectamente cubiertas e interconectadas por cadenas de proteínas que confirieron a la estructura resistencia a la ruptura.

- La relación entre las características de textura sensoriales e instrumentales de los análogos en los que se incorporó Slendid, se debió fundamentalmente a su firmeza sensorial y su dureza instrumental. La dureza y la masticabilidad instrumentales y la adhesividad y cohesividad sensoriales de los análogos conteniendo Dairy-lo, fueron las características que relacionaron mejor ambos métodos de determinación de textura.

- Las formulaciones 6, de Slendid (0.042-0.247-0.711) y de Dairy-lo (0.042-0.257-0.701), correspondientes a los puntos centrales determinados mediante los modelos preliminares, fueron las que mostraron el comportamiento textural de mayor similitud al del análogo completo en grasa, corroborando la eficacia del diseño experimental y la metodología de superficies de respuesta para este tipo de estudios

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERINE , M. A ., PANGBORN, R.M. y ROESSLER, E.B. 1965. *Principles of Sensory Evaluation of Foods*. Academic Press. Nueva York.

ANDERSON, D.L. y MISTRY, V.V. 1994. Reduced fat Cheddar cheese from condensed milk. 2. Microstructure. *J. Dairy Sci.* 77(1), 7-15.

ANÓNIMO. 1990. Fat substitute update. *Food Technol.* 44, 92-95.

- ANZALDÚA, M. A. 1994. *La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- AOAC. 1980. *Official Methods of Analysis*. 13ava. Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- ASERCA, 1996. La situación del sector lechero en nuestro país. Claridades Agropecuarias. Revista de publicación mensual. 33, 10-12.
- BAER, R. J., LENTSCH, M. R., KASPERSON, K. M., SCHINGOETHE, D. D. y ROBINSON, D.J. 1996. Scanning electron microscopy of reduced fat Cheddar cheese higher in unsaturated fatty acids. *J. Dairy Sci.* 78 (supl. 1), 128.
- BOURNE, M.C., 1982. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press, Nueva York.
- BROWN, J. 1974. Recognition assessed by rating and ranking. *British J. Psychol.* 65, 13-22.
- BRUHN, C. M., COTTER, A., DIAZ-KNAUF, K., SUTHERLIN, J., WEST, E., WIGHTMAN, E.W. y YAFFEE, M. 1992. Consumer attitudes and market potential for foods using fat substitutes. *Food Technol.* 46, 81-86.
- BRYANT, A., USTUNOL, Z. y STEFFE, J. 1995. Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction *J. Food Sci.* 60 (6), 1216-1219, 1236.
- BUSTAMANTE, R. O. 1997. Estudio de la factibilidad técnico - económica para el establecimiento de un centro de recepción y comercialización de leche. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo.
- CARIC, M., GANTAR, M. y KALAB, M. 1985. Effects of emulsifying agents on the microstructure and others characteristics of process cheese. A review. *Food Microstructure* 4(2), 297-312.

- CHEN, A.H., LARKING, J.W., CLARK, C.J. e IRWING, W.E. 1979. Textural analysis of cheese. *J. Dairy Sci.* 62, 901-907.
- CLARK, D. 1994. Fat replacers and fat substitutes. *Food Technol.* 48, 86.
- CONFEDERACIÓN NACIONAL GANADERA. 1997. Comportamiento Económico de Productos Pecuarios. Estadísticas Elaboradas por la Dirección de Estudios Económicos de la CNG.
- DEMAN, J. M. y BEERS, A. M. 1988. Fat crystal networks: structure and rheological properties. *J. Texture Studies* 18, 303-318.
- DICKINSON, E. 1992. *An Introduction to Food Colloids*. Oxford University Press, Gran Bretaña.
- DRAKE, M.A., HERRETT, W., BOYLSTON, T.D. y SWANSON, B.G. 1996. Lecithin improves texture of reduced fat cheeses. *J. Food Sci.* 61(3), 639-642.
- DRAKE, M.A., BOYLSTON, T.D. y SWANSON, B.G. 1996a. Fat mimetics in low-fat Cheddar cheese. *J. Food Sci.* 61(6), 1267-1270, 1288.
- DZIEZAK, J.D. 1989. Fats, oils and fat substitutes. *Food Technol.* 42, 66-74.
- EMMONS, D.B., KALAB, M., LARMON, E. y LOWRIE, R.J. 1980. Milk gel structure X. Texture and microstructure in Cheddar made from whole milk and homogenized low fat milk. *J. Texture Studies* 11, 15-34.
- FIFE, R.L., McMAHON, D.J., OBERG, C.J. 1996. Functionality of low fat Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 79, 1903-1910.
- FORMO, M.W. 1979. Physical properties of fats and fatty acids. En *Bailey's Industrial Oil and Fat Products-1*, (Swern, D. Ed.) vol. 1. 4a. Ed. John Wiley & Sons. Nueva York.
- GALAL, M. K. 1983. Preparation of cheese analogs from combinations of acid casein and

- rennet casein. Patente 4 397 926. Estados Unidos de América.
- GENNIP, H.M. 1988. Process for the manufacturing of cheese and cheese like products. Patente 4 744 998. Estados Unidos de América.
- GIESE, J. 1992. Developing low-fat meat products. *Food Technol.* 46 (4), 100-108.
- GLICKSMAN, M. 1991. Hydrocolloids and the search for the "oily grail". *J. Food Technol.* 10, 94-97.
- GREEN, M.L., TURVEY, A. y HOBBS, D.G. 1981. Development of structure and texture in Cheddar cheese. *J. Dairy Res.* 48, 343-355.
- GRUNDY, S.M. 1991. Recent nutrition research. Implications for foods of the future. *Annals Med.* 23, 187-193.
- HASSAN, A.N. y FRANK, J.F. 1997. Modification of microstructure and texture of rennet curd by using a capsule-forming non-ropy lactic culture. *J. Dairy Res.* 64, 115-121.
- HEERTJE, I. 1993. Structure and function of food products: A review. *Food Structure* 12, 343-364.
- JACK, F.R., PATERSON, A. y PIGGOT, J.R. 1993. Relationships between rheology and composition of Cheddar cheeses and texture as perceived by consumers. *J. Food Sci.* 62, 1352-1364.
- JOST, R., DANNENBERG, F. y ROSSET, J. 1989. Heat-set gels based on oil in water emulsions: an application of whey protein functionality. *Food Microstructure.* 8, 23-18.
- KALAB, M. 1979. Microstructure of dairy foods. 1. Milk products based on protein. *J. Dairy Sci.* 62,1352-1364.
- KANTOR, M.A., 1990. Light dairy products: the need and the consequences. *Food Technol.* 44 (10), 81-84.

- KIMBER, A. M., BROOKER, B. E., HOOBS, D. G. y PRENTICE, J.H. 1974. Electron Microscope studies of the development of structure in Cheddar cheese. *Food Structure* 11, 217-224.
- KIMURA, T. y TANEYA, S. 1974. Electron microscopic observation of casein particle in cheese. *J. Electron Microscopy* 24(2), 115-117.
- KNEIFEL, W. y SEILER, A. 1993. Water-holding properties of milk protein products – a review. *Food Structure* 12, 297-308.
- LABELL, F. 1988. Tofu technology yields whole egg substitute, dairy replacers. *Food Proc.* 4, 67-69.
- LAGOUEYTE, N., LABLEE, J., LAGAUDE, A. y TARODO DE LA FUENTE, B. 1994. Temperature affects microstructure of renneted milk gel. *J. Food Sci.* 59 (5), 956-959.
- LARSSON, K. 1986. Physical properties, structural and physical characteristics. En *Lipids Handbook*. Gunstone, F.D., Harwood, J.L., Padley, F.B. (eds). Chapman and Hall. Gran Bretaña.
- LAWRENCE, R.C., HEAP, H.A. y GUILLES, J. 1984. A controlled approach to cheese technology. *J. Dairy Sci.* 67, 1632.
- LEDWARD, D.A. 1993. Creating textures from mixed biopolymer systems. *Trends Food Sci. Technol.* 4, 402-405.
- LUCCA, P.A. y TEPPER, B.J. 1994. Fat replacers and the functionality of fat in foods. *Trends Food Sci. Technol.* 5, 12-18.
- LYNNE, B.H. 1974. Mixture designs applied to food formulation, *Food Technol.* 28(3), 50-56, 62.
- MARSHALL, R.J. 1990. Composition, structure, rheological properties, and sensory texture

- of cheese analogues. *J. Sci. Food Agric.* 50, 237-252.
- McMAHON, D.J., OBERG, C.J. y McMANUS, W. 1993. Functionality of Mozzarella cheese. *Aust. J. Dairy Technol.* 48, 99-104.
- McMAHON, D.J., ALLEYNE, M.C., FIFE, R.L. y OBERG, C.J. 1996. Use of fat replacers in low fat Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 79, 1911-1921.
- MEDINA, A. 1995. Una proteína sustituye la grasa. Simplese. Boletín informativo. NutraSweet de México, S.A. de C.V. México.
- MERRILL, R.K., OBERG, C.J. y McMAHON, D.J. 1994. Physical properties of Mozzarella cheese. A method for manufacturing reduced fat Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 77, 1783.
- METZGER, L.E. y MISTRY, V.V. 1995. A new approach using homogenization of cream in the manufacture of reduced fat Cheddar cheese. 2. Microstructure, fat globule distribution, and free oil. *J. Dairy Sci.* 78 (9), 1883-1895.
- MISTRY, V.V. y ANDERSON, D.L. 1993. Composition and microstructure of commercial full-fat and low-fat cheeses. *Food Structure* 12, 259-266.
- MODLER, H. W. 1985. Functionality of casein ingredients: Review. *J. Dairy Sci.* 68 (9), 2195-2203.
- MORR, C.V. 1992. Improving the texture and functionality of whey protein concentrate. *Food Technol.* 46, 110-113.
- OBERG, C.J., McMANUS, W.R. y McMAHON, D.J. 1993. Microstructure of Mozzarella cheese during manufacture. *Food Structure* 12, 251-258.
- OLSON, N.F. y JOHNSON, M.E. 1990. Light cheese products: characteristics and economics. *Food Technol.* 44 (10), 93-96.
- O' MAHONY, M. 1983. Adapting short cut signal detection measures to the problem of

- Multiple difference testing: The R-Index. En *Sensory Quality in Foods and Beverages*. (Williams and Atkin. Eds.). Chapman Inc. Gran Bretaña.
- O' MAHONY, M. 1986. *Sensory Evaluation of Foods. Statistical Methods and Procedures*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, E.U.A.
- PAGLIARINI, E. y BEATRICE, N. 1994. Sensory and rheological properties of low fat filled "pasta filata cheese". *J. Dairy Res.* 61, 299-304.
- PANGBORN, R. M. y EYMERY, O. 1988. Influence of fat, citric acid and sodium chloride on texture and taste of a cheese analog. *Sciences Aliments* 8(1), 15-32.
- PARNELL, E.M., CLUNIES, D.M. y BULLOK, D.H. 1985. Textural characteristics of queso blanco. *J. Dairy Sci.* 68, 789-793.
- PERRY, C.A. y CARROAD, P. A. 1980. Instrument for texture of small curd cottage cheese and comparison to sensory evaluation. *J. Food Sci.* 45, 798-801.
- PERRY, D.B., McMAHON, J. y OBERG, C.J. 1997. Effect of exopolysaccharide-producing cultures on moisture retention in low fat Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 80, 799-805.
- PFIZER. 1993. Descubra el secreto de los alimentos bajos en grasa de exquisito sabor. Boletín de información técnica. Pfizer, S.A. de C.V. México.
- PORKOMY, J., DAVÍDEK, J. y DOBIÁSOVÁ, S. 1984. Comparison of sensory analysis and rotational rheometry in the texture evaluation of margarines. *J. Texture Studies* 15, 395-406.
- QUÍMICA HÉRCULES. 1994. Slendid background information and user guidelines. Copenhagen Pectin A/S. Folleto técnico.
- RAYAN, A.A., KALAB, M. y ERNSTROM, C.A. 1980. Microstructure and rheology of process cheese. *Scanning Electron Microscopy III*, 635-643.

- ROSENBERG, M., WANG, Z., CHUANG, S.L. y SHOEMAKER, C.F. 1995. Viscoelastic property changes in Cheddar cheese during ripening. *J. Food Sci.* 60 (3), 640-644.
- RUIZ, F. 1989. Análogos de queso. *Lácteos Mexicanos.* 3 (6), 8-11.
- RULE, D.H. 1978. Preparation of imitation Mozzarella Cheese. Patente No. 4 075 360. Estados Unidos de América.
- SANDERSON, G. R. 1981. Polysaccharides in foods. *Food Technol.* 35, 50-57, 83.
- SANTOS, M.A. 1987. *Leche y sus Derivados.* Editorial Trillas, S. A. de C. V. México.
- SEIDEN, P. 1974. Preparation of synthetic cheese. Patente No. 3 806 606. Estados Unidos de América.
- SHAW, M. 1984. Cheese substitutes: threat or opportunity?. *J. Soc. Dairy Technol.* 37(1), 27-31.
- SHERMAN, P. 1982. The textural characteristics of dairy products. En *Rheology and Texture in Food Quality*, (Deman, J.M. Ed.) 2a. Ed. The Avi Publishing Company, Inc. Westport Connecticut.
- SHIMP, L.A. 1985. Process cheese principles. *Food Technol.* 39 (5), 63-69.
- SHOEMAKER, C. F., NANTZ, J., BONNANS, S. y NOBLE, A.C. 1992. Rheological characterization of dairy products. *Food Technol.* 46 (6), 98-103.
- SHUKLA, A. y RIZVI, S. S. H. 1996. Relationship among chemical composition, microstructure and rheological properties of butter. *Milchwissenschaft.* 51 (3), 144-148.
- SINGHAL, R.S., GUPTA, A.K., KULKAMI, P.R. 1991. Low-calorie fat substitutes. *Trends Food Sci. Technol.* 2, 241-244.
- STAMPANONI, C. R. y NOBLE, A. C. 1991. The influence of fat, acid and salt on the perception of selected taste and texture attributes of cheese analogs a scalar study. *J. Texture*

Studies 22, 367-380.

STATGRAPHICS. 1993. Statistical graphics system. Statistical Graphics Corporation, Manugistics, Inc. Cambridge, M.A.

STEVENTON, A.J., GLADDEN, L.F. y FRYER, P.J. 1991. A percolation analysis of the concentration dependence of the gelation of whey protein concentrates. *J. Texture Studies* 22, 201-218.

STONE, H., SIEDEL, J., OLIVER, S., WOOLSEY, A. y SINGLETON, R.C. 1974. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Cereal Foods World* 25, 642-644.

SUTHEERAWATTANANONDA, M., FULCHER, R.G., MARTIN, F.B. y BASTIAN, E.D. 1997. Fluorescence image analysis of process cheese manufactured with trisodium citrate and sodium chloride. *J. Dairy Sci.* 80, 620-627.

SWANSON, A.M., SWANSON, R.J. y SEIBEL, J.K. 1982. Natural Cheese analog. Patente No. 4 343 817. Estados Unidos de América.

SZCZESNIAK, A.S. 1963. Objective measurements of food texture. *J. Food Sci.* 28, 410-420.

SZCZESNIAK, A.S. 1963a. Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.* 28, 385-389.

SZCZESNIAK, A.S. 1990. Texture: is it still an overlooked food attribute?. *Food Technol.* 44(9), 86-95.

SZCZESNIAK, A.S. 1995. Texture profile analysis – Methodology interpretation clarified. *J. Food Sci.* 60(6).

TAMIME, A.Y., KALÁB, M., DAVIES, G. y YOUNIS, M.F. 1990. Microstructure and firmness of processed cheese manufactured from Cheddar cheese and skim milk powder cheese base. *Food Structure* 9, 23-27.

TREJO, R. A. y LOZANO, L. M. 1990. Epidemiología de la enfermedad aterosclerosa

- coronaria en México. Ciencia. Número especial de aniversario. 103-109.
- TUNICK, M.H., MACKEY, K.L., SMITH, P.W. y HOLSINGER, V.H. 1991. Effects of composition and storage on the texture of Mozzarella cheese. *Neth. Milk Dairy J.* 45, 117-125.
- TUNICK, M.H. y NOLAN, E.J. 1992. Rheology of cheese. En *Physical Chemistry of Food Processes. Fundamental aspects*. Vol. 1, (de Baianu, I.C. Ed.) AVI Van Nostrand Reinhold, E.U.A. 273-297.
- TUNICK, M.H., MACKEY, K.L., SHIEH, J.J., SMITH, P.W., COOKE, P. y MALIN, E.L. 1993. Rheology and microstructure of low-fat Mozzarella cheese. *Int. Dairy J.* 3, 649.
- USTUNOL, Z., KAWACHI, K. y STEFFE, J. 1995. Rheological properties of Cheddar cheese as influenced by fat reduction and ripening time. *J. Food Sci.* 60 (6), 1208-1210.
- WYNN, J.D., DENTON, G.T. y BELL, R.J. 1978. Preparation of imitation cheese. Patente No. 4 104 413. Estados Unidos de América.
- YANG, C.S.T. y TARANTO, M.V. 1982. Textural properties of Mozzarella cheese analogs manufactured from soybeans. *J. Food Sci.* 47, 906-910.
- YIU, S.H. 1985. A fluorescence study of cheese. *Food Microstructure.* 4, 99-106.