

16
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

ESTUDIO COMPARATIVO DE ELABORACION DE QUESO TIPO "CHIHUAHUA" MEDIANTE ULTRAFILTRACION Y POR TECNOLOGIA TRADICIONAL.

T E S I S
QUE PARA OBTENER TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
MARIA ANDREA TREJO MARQUEZ

DIRECTOR DE TESIS:
I.Q.B. LETICIA FIGUEROA VILLARREAL



CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX.

1990

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

Índice de cuadros.
Índice de gráficas.
Índice de figuras.
Resumen.

PAGINA

Introducción.....	1
I Generalidades.....	3
I-1 Definición y composición química de la leche.....	3
I-2 Producción de queso y leche en México.....	4
I-3 Definición y clasificación de quesos.....	6
I-4 Bioquímica de los quesos.....	7
I-5 Tecnología de procesos de membrana.....	11
I-6 Descripción del proceso de ultrafiltración.....	13
I-7 Elementos que integran el sistema de ultrafiltración..	13
I-8 Parámetros que influyen sobre el flujo de permeación durante la ultrafiltración.....	20
I-8-1 Relación de la concentración con el flujo de permeación.....	20
I-8-2 Relación de la temperatura con el flujo de permeación..	22
I-8-3 Relación de la caída de presión transmembrana con el flujo de permeación.....	22
I-8-4 Relación de la velocidad de alimentación con el flujo de permeación.....	23
I-8-5 Influencia de las características de la membrana sobre el flujo de permeación.....	24
I-9 Ventajas y desventajas de la ultrafiltración.....	25
I-10 Aplicación de la ultrafiltración.....	27
I-11 Elaboración de quesos por ultrafiltración.....	29
II Diseño Experimental.....	31
II-1 Objetivos.....	31
II-2 Hipótesis de trabajo.....	32
II-3 Material y equipo.....	32
II-4 Metodología Experimental.....	35
III Resultados y Análisis.....	47
IV Conclusiones.....	96
V Recomendaciones.....	99
VI Bibliografía.....	100

INDICE DE CUADROS

NUMERO	NOMBRE	PAGINA
1	Composición química de la leche de vaca.....	3
2	Producción de leche en México.....	4
3	Importaciones y distribución de leche en polvo.....	5
4	Producción nacional de quesos.....	6
5	Membranas utilizadas en ultrafiltración de productos lácteos.....	17
6	Diagrama experimental.....	44
7	Diagrama de flujo de elaboración de queso tipo "Chihuahua" por método tradicional.....	45
8	Diagrama de flujo de elaboración de queso tipo "Chihuahua" por método de ultrafiltración.....	46
9	Detección de antibióticos en 10 muestras de leche de vaca en 10 establos de la delegación Azcapotzalco.....	48
10	Pruebas fisicoquímicas en 10 muestras de leche de 10 establos de la delegación Azcapotzalco.....	48
11	Composición química de la leche para elaborar queso por método tradicional.....	49
12	Propiedades fisicoquímicas de la leche para elaboración de queso por método tradicional.....	50
13	Tiempos de maduración de la leche usando diferentes cultivos lácteos.....	50
14	Tiempos de coagulación de la leche usando diferentes cultivos lácteos.....	51
15	Influencia de la concentración sobre el flujo de permeación a 40°C.....	61
16	Influencia de la temperatura sobre el flujo de permeación a 309 KN/m ²	66
17	Energías de activación a diferentes concentraciones de sólidos totales.....	67
18	Influencia del pH sobre el flujo de permeación a 309 KN/m ² y 32°C.....	69
19	Condiciones de operación.....	71
20	Composición de la leche de vaca.....	74
21	Tiempos de maduración del concentrado a diferentes porcentajes y tipos de cultivo láctico.....	74
22	Tiempos de coagulación del concentrado a diferentes porcentajes y tipo de cultivo láctico.....	77
23	Pérdida de peso de los quesos durante el proceso de maduración.....	85
24	Cambios de pH durante la maduración de queso.....	87
25	Relación de maduración de quesos.....	89
26	Acidos grasos libres durante la maduración de quesos.....	91
27	Composición de quesos y especificaciones de la Norma Oficial Mexicana.....	93
28	Contenido microbiológico comparativo de queso tipo "Chihuahua" con respecto a la Norma Oficial Mexicana.....	94
29	Valores obtenidos en la prueba de preferencia.....	95

INDICE DE GRAFICAS

NUMERO	NOMBRE	PAGINA
1	Cinética de maduración y coagulación de leche a 1% de cultivo iniciador.....	52
2	Cinética de maduración y coagulación de leche a 2% de cultivo iniciador.....	53
3	Cinética de maduración y coagulación de leche a 3% de cultivo iniciador.....	54
4	Cinética de elaboración de queso por método tradicional.....	56
5	Flujos de permeación en función de la concentración de sólidos totales a diferentes temperaturas y presión de 309KN/m ²	58
6	Flujos de permeación en función de la caída de presión transmembrana a diferentes concentraciones de sólidos totales y a 40°C de temperatura.....	60
7	Flujos de permeación en función de la concentración a diferentes temperaturas y presión de 309KN/m ²	63
8	Flujos de permeación en función de la temperatura a diferentes concentraciones de sólidos totales a 309KN/m ²	65
9	Flujos de permeación en función de la concentración de sólidos totales a diferentes pH, 309KN/m ² y 32°C.....	68
10	Reducción del volumen en función del tiempo a 309 KN/m ² , 50°C y pH de 6.5.....	70
11	Perfil de concentración de proteínas, lactosa, grasa y cenizas en el concentrado.....	72
12	Perfil de concentración de proteína, lactosa y cenizas en el permeado.....	73
13	Perfil de concentración de sólidos totales y solubles en el concentrado.....	75
14	Perfil de concentración de sólidos totales en el permeado.....	76
15	Cinética de maduración y coagulación del concentrado a 3% de cultivo iniciador y 32°C.....	78
16	Cinética de maduración y coagulación del concentrado a 6% de cultivo iniciador y 32°C.....	79
17	Cinética de maduración y coagulación del concentrado a 9% de cultivo iniciador y 32°C.....	80
18	Cinética de maduración y coagulación del concentrado a 12% de cultivo iniciador y 32°C.....	81
19	Cinética de elaboración de queso por ultrafiltración.....	84
20	Pérdida de peso durante el proceso de maduración de queso tipo "Chihuahua" por método tradicional y por ultrafiltración.....	86
21	Cambios en pH durante el proceso de maduración de queso tipo "Chihuahua" por método tradicional y por ultrafiltración.....	88

22	Relación de maduración de queso tipo "Chihuahua" por método tradicional y por ultrafiltración.....	90
23	Lipólisis en el curso de la maduración de queso tipo "Chihuahua" por método tradicional y por ultrafiltración.....	92

INDICE DE FIGURAS

NUMERO	NOMBRE	PAGINA
1	Representación del proceso de ultrafiltración.....	14
2	Configuración de una membrana tubular.....	19
3	Configuración de una membrana en espiral.....	19
4	Sistema de ultrafiltración.....	34

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio comparativo entre el método tradicional empleado en la elaboración de queso y a partir de un concentrado proteico obtenido por ultrafiltración.

Se llevó a cabo un muestreo en 10 establos de la delegación Azcapotzalco para seleccionar al proveedor de leche que no presentara antibióticos. Se elaboró queso tipo "Chihuahua" por el método tradicional, estableciéndose las cantidades de cuajo (10 ml de cuajo por 100 l de leche), de cloruro de calcio (0.03%) y de cultivo iniciador (3%) a emplear. Se encontró que el cultivo láctico más adecuado para la elaboración de queso fué una mezcla de microorganismos mesófilos (Streptococcus lactis, S. cremoris y S. diacetilactis) con microorganismos termófilos (S. thermophyllus y Lactobacillus bulgaricus).

Posteriormente se establecieron las condiciones de operación del proceso de ultrafiltración, determinándose los flujos de permeación y los perfiles de concentración de proteínas, grasas, lactosa, cenizas, sólidos totales y solubles del permeado y concentrado. Se encontró que las condiciones de operación más adecuadas para la concentración de la leche fueron: 50°C, pH de 6.5 y 309 KN/m² de presión. Después se elaboró queso a partir del concentrado proteico obtenido por ultrafiltración, encontrándose que el cultivo iniciador más adecuado fué la misma mezcla de microorganismos que para el queso tradicional, en un porcentaje del 6%. También se emplearon 2.6 ml de cuajo por 100 l de leche y

no se le adicionó ninguna solución de calcio.

Se realizó un estudio de maduración de los quesos obtenidos por ambos métodos durante el lapso de un mes, a temperatura de 10°C y 90% de humedad relativa, encontrándose que el queso elaborado por ultrafiltración presentó un 48% menos de pérdida de peso que el queso tradicional y en lo referente a cambios en pH, relación de maduración y porcentaje de ácidos grasos libres, presentaron un comportamiento similar.

En general, por el método de ultrafiltración se obtuvieron las siguientes ventajas sobre el método tradicional: el rendimiento quesero se incrementó de 10.38% a 14.76%, hubo un aumento de 30% en el contenido de proteínas, además se logró un ahorro del 77.74% de cuajo, del 60% del cultivo iniciador y se evitó la adición de soluciones de calcio.

Los productos obtenidos cumplieron con la Norma Oficial Mexicana (NOM-F-209) y al compararlos con productos similares existentes en el mercado se encontró una buena aceptabilidad de los quesos.

INTRODUCCION

El origen de los productos lácteos data probablemente de los inicios de la civilización, su historia podría asociarse a la domesticación de los animales productores de leche. La elaboración de estos productos fué desarrollada en todo el mundo como un medio de preservar la leche contra la descomposición.

La elaboración de quesos ha fluctuado desde la manufactura casera hasta la producción en gran escala usando procesos automáticos, cultivos seleccionados y equipos modernos como la ultrafiltración, el cual es un método utilizado como alternativa o complemento a las operaciones clásicas de concentración y fraccionamiento. A partir de la década de los setentas, el interés en la tecnología de procesos de membrana ha aumentado y se ha constituido en un método de separación importante en la industria alimentaria.

Actualmente se han reportado diversos trabajos sobre la elaboración de diferentes productos lácteos como yoghurt, bases para helado y quesos, empleando la técnica de ultrafiltración. Los quesos que hasta ahora se han elaborado por esta técnica

incluyen los comunes de Europa y los Estados Unidos, tales como el Fromage Frais, Petit Suisse, Camembert, Cheddar, Mozzarella, Ricotta y Cottage. Sin embargo hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio sobre la elaboración de quesos típicos mexicanos. Es necesario continuar investigaciones para perfeccionar esta tecnología, ya que el futuro de la ultrafiltración en la elaboración de quesos parece prometedor.

I-GENERALIDADES

I-1: Definición y Composición Química de la Leche.

Antes de hablar de la composición química de la leche, es necesario encontrar una definición de la misma. La leche es un líquido blanco, opaco, dos veces más viscoso que el agua, de sabor ligeramente azucarado y de olor poco acentuado (60). Otros autores la definen como el líquido secretado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, tras el nacimiento de la cría (1). Su composición y sus principales características fisicoquímicas son las que se muestran en el cuadro 1.

CUADRO 1: Composición química de la leche de vaca (51).

Grasa	3.75%
Proteína	3.38%
Lactosa	5.00%
Sales	0.80%
Agua	87.00%
Constituyentes menores: Vitaminas (A, D, E, K, C y B.) Pigmentos (Carotenos, Iantofila) Enzimas (Lipasas, Proteasas, Reductasas, Fosfatasas, Catalasas y Oxidasas).	
pH	6.5
Índice de Refracción	1.35
Densidad a 15°C.	1.030-1.034

La composición química de la leche puede variar significativamente de acuerdo con el estado de lactancia, raza, edad y salud de la vaca, así como por la época del año y la alimentación.

I-2 Producción de leche y queso en México.

La producción de leche en nuestro país ascendió de 1 867 millones de litros en 1960 a 3 757 millones de litros en 1970, decreciendo de 5 547 en 1980 a 4 888 en 1988.

CUADRO 2: PRODUCCION DE LECHE EN MEXICO, 1960-1988
(24-35)

AÑO	PRODUCCION (Millones de litros)
1960	1 867.00
1970	3 757.95
1975	4 820.18
1980	5 547.00
1981	5 561.00
1982	5 746.00
1983	5 830.00
1984	5 517.00
1985	5 350.00
1986	5 110.00
1987	4 920.00
1988	4 882.00

A pesar de las graves carencias de materias primas nacionales, la evolución de la industria láctea ha sido satisfactoria en términos de crecimiento, ubicado entre un 6 y un 8% anual durante la última década (4), debido al abastecimiento de insumos importados; esto lo podemos observar en el cuadro 3.

CUADRO 3: IMPORTACIONES Y DISTRIBUCION DE LECHE EN POLVO (27-35)

AÑO	CANTIDAD (Miles de tons.)	INDUSTRIA PRIVADA (%)
1980	194.80	50.31
1981	133.20	51.10
1982	97.40	55.32
1983	87.20	52.50
1984	104.00	49.85
1985	134.80	77.82
1986	131.10	54.31
1987	157.00	26.04
1988	208.00	29.40

La escasez de materia prima nacional originó una alta dependencia de las importaciones, fenómeno que se vió fuertemente favorecido por la política de devaluaciones del peso e hizo aparecer como abatimiento de costos lo que en realidad era competencia desigual en contra de la industria nacional productora de leche fresca. Por otra parte, la producción de derivados lácteos ha sido más favorecida en los últimos años, siendo actualmente el yoghurt y el queso los más producidos. La

producción de queso se incrementó considerablemente en los años setentas, aunque en la década pasada presentó un descenso provocado por el déficit en la producción de la leche fluida. En el cuadro 4 se muestra la producción nacional de queso en los últimos años.

CUADRO 4: Producción nacional de quesos (4)

AÑO	VOLUMEN DE LA PRODUCCION (Millones de Kg.)
1960	3.06
1970	16.82
1973	17.48
1976	16.89
1979	14.60
1982	17.30
1985	20.83
1988	23.80

I-3 Clasificación y Definición de Quesos.

Una de las formas más antiguas de conservar los dos componentes insolubles de la leche (la caseína y la materia grasa) es mediante la elaboración de quesos. Estos son productos fermentados, constituidos esencialmente por la caseína de la leche en forma de gel más o menos deshidratado que retiene casi toda la materia grasa (si se trata de queso graso), un poco de lactosa en forma de ácido láctico y una fracción variable de sustancias minerales (56). El queso es un alimento producido en diversas regiones del mundo a partir de la leche de diferentes especies de mamíferos. Su composición química varía de acuerdo al tipo de queso, ya que existen más de 400 variedades en el mundo; sus nombres son generalmente de origen local, ya sea el nombre de

algún pueblo o ciudad (16). Su valor nutritivo es alto debido a su contenido en materias nitrogenadas y al tipo de aminoácidos que presentan.

Existen distintas clasificaciones de los quesos. En general se puede decir que se agrupan con base en su forma de elaboración (queso al cuajo y queso sin cuajo) (1), consistencia (queso de pasta dura, semidura y blanda) (11) procedencia de la leche (vaca, oveja o cabra), composición (quesos grasos, semigrasos, magros, de alto, medio y bajo contenido de agua) (17, 56), y proceso de maduración (frescos y madurados) (54).

I-4 Bioquímica de los quesos.

El proceso más importante en la elaboración de queso es la coagulación de las proteínas de la leche, la cual puede llevarse a cabo por acción de ácidos (coagulación ácida), por medio de enzimas (coagulación enzimática) o una mezcla de ambos (coagulación mixta). En la coagulación ácida el aumento de acidez en la leche se logra por la adición de un electrolito hasta alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína ($\text{pH}=4.65$) (51). El complejo formado por el calcio y la caseína se transforma en caseína ácida, la que precipita cuando la reacción corresponde al punto isoeléctrico. Los iones de calcio quedan libres y se combinan con el ácido láctico para formar lactato cálcico (57). La caseína ácida está libre de calcio y por eso no puede compararse con el para-caseinato de calcio originado en la coagulación enzimática. La cuajada ácida es muy frágil, poco

elástica y presenta una textura homogénea y relativamente abierta y pegajosa (11).

En la coagulación enzimática se utiliza a la renina, enzima proteolítica segregada por la mucosa del cuajar o cuarto estomago de los rumiantes jóvenes alimentados exclusivamente con leche (1). Este método es el más utilizado en la fabricación de la mayor parte de los quesos duros y semiduros. Esta acción coagulante está regida por leyes fisicoquímicas, ya que la leche, como todos los líquidos orgánicos, es un fluido en el que unos componentes están en solución, como la lactosa y los minerales, otros en emulsión como la grasa y la caseína, que se encuentran en fase dispersa, y por tanto sólo permanecen estables mientras el estado eléctrico de los iones de sus componentes no se altere por un agente químico (57). La caseína está constituida por tres fracciones: α , β y kappa. En su conjunto constituyen las llamadas "micelas de caseína". A la caseína kappa corresponde un papel especial en este complejo, en contraste con las otras fracciones; es insensible al calcio y actúa como coloide protector (1). La desestabilización del sistema micelar de la leche se produce por la acción proteolítica de la renina. La coagulación enzimática se lleva a cabo en dos fases principales: En la fase primaria o enzimática, la renina hidroliza a la kappa caseína, llevando a la ruptura entre los aminoácidos 105 y 106 (fenilalanina y metionina respectivamente) de ésta caseína. Esta hidrólisis tiene como resultado la separación de la fracción hidrofílica soluble (macropéptido) que contiene los residuos ácidos, el grupo fosfato y las unidades de carbohidratos de la

fracción hidrofóbica (1, 51). En la fase enzimática no hay en apariencia cambios visibles ni aumento de viscosidad, ni tampoco se persigue coagulación. En ausencia de sales solubles de calcio, el para-caseinato que se ha formado permanece en este estado no coagulado y la acción de esta etapa del proceso tiene lugar lo mismo a altas que a bajas temperaturas.

En la fase secundaria, las micelas modificadas se agregan. La α y β caseínas son gradualmente hidrolizadas por largo tiempo. En esta fase se forman puentes salinos a temperaturas favorables entre las micelas sensibles al calcio, gracias a la presencia de iones de este metal, produciéndose rápidamente la coagulación. El gel originado es una formación alveolada o reticular, es decir, una armazón tridimensional. Finalmente, en la tercera etapa o precipitación de la caseína no coagulada aún hay un aumento visible de la viscosidad. Este cambio es efectuado por la acción de las sales solubles al calcio al neutralizar las cargas eléctricas del paracaseinato de calcio no coagulado formado durante la primera etapa. La coagulación comienza tan rápidamente como el ácido láctico suministra sales solubles de calcio (51, 56, 57). El gel formado por este modo de coagulación es de consistencia gelatinosa y elástica, impermeable y de notable contractilidad.

Los factores que intervienen en la coagulación enzimática son la dosis de cuajo, la temperatura, el pH y el contenido de las sales de calcio. La temperatura óptima (biológica) es de 41°C. aproximadamente, aunque la leche puede coagular a

temperaturas superiores a los 10°C. Por lo general la temperatura se elige en función del tipo de queso a elaborar. Para los quesos blandos se utilizan temperaturas de coagulación de 28 a 30°C. mientras que los quesos duros coagulan a 32-35°C. La temperatura influye no sólo en el tiempo de coagulación, sino también sobre la capacidad de hidratación, la contracción de la cuajada y la acidificación. Por otra parte, la dosis del cuajo es uno de los factores más importantes para llevar a cabo la coagulación enzimática. Su actividad depende de su concentración. Entre mayor sea ésta menor es el tiempo de coagulación. Este comportamiento es lineal entre 2 y 20 partes por 10 000, que son las cantidades que se manejan en lácteos. A mayor proporción la relación no es lineal (57). El cuajo es inactivado a pH alcalino. Cuando es inferior a 7, se observa una aceleración de la gelificación, ya que se reducen las cargas eléctricas de las micelas de caseína, con lo que disminuye su estabilidad. El pH óptimo no coincide con el pH de coagulación enzimática de la leche, que varía entre 6 y 6.4. El coágulo formado con pH bajo es sensiblemente diferente del que se forma al pH original de la leche. A pH cercano a la neutralidad, la micela forma una red tridimensional más fuerte porque no está desmineralizada, aunque tarda más tiempo en hacerlo. La cuajada que se obtiene es flexible, elástica, compacta, impermeable, contráctil y contiene poca agua. Por estas características tolera las fuerzas mecánicas que facilitan la contracción del coágulo y la salida del suero. Si se adiciona a pH ácido, la coagulación se efectúa en menos tiempo, ya que la micela se encuentra desmineralizada y forma una red tridimensional muy débil (por falta de calcio), que es menos

flexible, contráctil y más permeable. Por lo anterior el desuerado es más rápido, aunque la cuajada absorbe más agua debido a los lactatos de paracaseína que se forman (11, 54, 57, 60).

La presencia de sales de calcio en forma de iones libres es necesaria para conseguir una acción efectiva del cuajo y para la producción de una cuajada de buena consistencia. La presencia de iones de calcio es necesaria para la propia existencia de las micelas de caseína, pero éstas son muy sensibles al calcio cuando han sido sometidas a la acción efectiva del cuajo, por lo tanto, las más mínimas modificaciones de iones de calcio pueden influir sobre la velocidad de coagulación (1, 42, 57, 60).

I-5 Tecnología de procesos de membrana

La electrodiálisis, ósmosis inversa y la ultrafiltración son procesos de separación a los que se les ha dado atención especial en los últimos años debido a la importancia de su aplicación en la industria alimenticia y en especial en la industria láctea (3).

En la electrodiálisis se utilizan una serie de membranas aniónicas y catiónicas dispuestas en forma alternada, colocadas entre dos electrodos entre los cuales se genera una diferencia de potencial eléctrico perpendicular a la superficie de las membranas. De esta manera los cationes migran a través de la

membrana aniónica creándose así cámaras de concentración y de desmineralización. La diferencia de potencial eléctrico establece el transporte de especies con carga eléctrica a través de la membrana (52).

Por otra parte la ósmosis inversa es una técnica de separación que emplea como sistema de activación una presión mayor que la presión osmótica normal. Se retienen moléculas hasta de 10 Å y la fuerza impulsora es una diferencia de presiones de 50 a 100 atmósferas.

La ultrafiltración es un proceso de separación en el que se utiliza una membrana que separa partículas de aproximadamente 10 a 100 Å del medio circundante. La fuerza impulsora del proceso es una presión hidrostática de 1 a 10 atmósferas, mediante la cual es posible concentrar, purificar o fraccionar solutos de alto peso molecular en solución líquida sin que ocurra ningún cambio de fase (7).

El principio común de estos 3 procesos es la separación de los componentes de un fluido a través de una membrana en 2 corrientes de composición diferente sin que ocurra un cambio de fase.

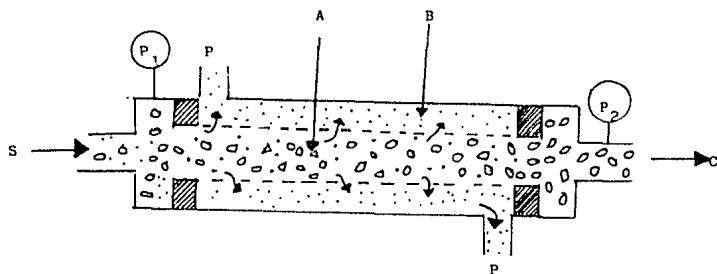
I.6 Descripción del proceso de ultrafiltración

El principio de operación de la ultrafiltración es el siguiente (Figura 1): La solución líquida (S), formada por 2 solutos de distinto peso molecular (A y B), se hacen fluir al aplicar una presión hidrostática. La solución se pone en contacto con la membrana, la que presenta características de retención al componente de mayor peso molecular (A) y el disolvente mas las partículas de peso molecular menor (B), pasan a través de la membrana. El flujo de la solución (S) es paralelo a la membrana y la separación de los componenetes A y B ocurre en forma perpendicular a la dirección del flujo de la solución. Del lado de alta presión de la membrana (P1) se obtiene una solución concentrada (C), integrada por macromoléculas; del lado de baja presión (P2) se obtiene una solución o permeado (P) compuesto exclusivamente de disolvente y de moléculas de menor peso (7).

I-7 Elementos que integran el sistema de ultrafiltración.

Los elementos que integran el sistema de ultrafiltración son: El medio filtrante o membrana, el dispositivo de bombeo, controles e indicadores de flujo, presión y temperatura, recipientes de alimentación y recepción del producto, tuberías y conexiones.

El elemento de mayor importancia es la membrana, película



S = Solución compuesta por A y B .

A = Solute de alto peso molecular.

B = Solute de bajo peso molecular.

C = Concentrado.

P = Permeado.

P_1 = Presión manométrica de entrada.

P_2 = Presión manométrica de salida.

FIGURA 1: Representación del proceso de Ultrafiltración.

compuesta por una capa densa y delgada apoyada en un sustrato esponjoso, poroso y mucho más grueso, con poca o nula resistencia a la permeación (52).

La membrana está formada por una capa ultrafina de polímero denso (de 0.5 a 1.5 micras), teniendo como soporte una capa relativamente gruesa con una subestructura polimérica microporosa. Se ha sugerido que la capa densa y el soporte poroso puedan fabricarse en un mismo proceso y con un espesor total de 0.1 a 0.2 mm. Para uso industrial, el laminado va montado sobre estructura endurecida, rígida pero porosa (3, 5).

En los últimos años han aparecido en el mercado diversos equipos de ultrafiltración y diferentes materiales de membranas. Las primeras membranas utilizadas fueron de acetato de celulosa, están siendo desplazadas debido a su limitación de temperatura de trabajo (50°C. máximo), en intervalos de pH de 3 a 8. El atraso en la industrialización de quesos por medio de ultrafiltración se debe principalmente a las limitaciones de este tipo de membrana (49).

Recientemente se han fabricado membranas que tienen una capa selectiva muy delgada, que consiste en grandes poros con poca resistencia mecánica. Sin embargo permiten mayores flujos de permeación y son menos susceptibles a bloquearse que las membranas formadas de películas simétricas de igual selectividad. También se han comenzado a fabricar membranas a partir de polímeros como poliamidas, polietilamidas y polisulfuronas, con

muy buenos resultados, especialmente estas últimas, las cuales permiten una temperatura de trabajo de 75 a 100°C. y prácticamente sin limitaciones de pH, por lo que han desplazado a las de acetato de celulosa casi por completo. Sus limitaciones son su tendencia a compactarse y su poca resistencia a los desinfectantes clorados (49).

Otras membranas que se están fabricando son metálicas y de cerámica, con gran resistencia a la temperatura (400°C.) y a los reactivos químicos.

Las membranas pueden tener diferentes formas geométricas (Cuadro 5) tales como láminas planas, hojas enrolladas en espiral y formas tubulares. La membranas de lámina plana se usan con un montaje similar al de las prensas de filtro de placas y armazón, en los que la membrana se ensancha a través de una serie de pantallas perforadas, apoyadas sobre una ranura de la placa. El líquido fluye a velocidad de 0.5 m/s. a través de canales de 0.3 a 0.5 mm., y sólo está en contacto con la membrana a una distancia aproximada de 150 mm. Este tipo de instalaciones ha sido empleada en la industria láctea, por ejemplo, en la concentración de suero (49).

CUADRO 5: Membranas Utilizadas en Ultrafiltración Industrial de Productos Lácteos (49).

GEOMETRIA	MATERIAL DE LA MEMBRANA	LÍMITE DE EXCLUSIÓN MOLECULAR
Tubular	Acetato de celulosa Poliamida	10 000 1 000
Fibras huecas	Nodakril Poliamidas Polisulfona	50 000 1 000 5 000
Placas	Polisulfona Copolímeros acrílicos y polisulfona	20 000 15 000
Tubos en espiral	Polisulfona Acetato de celulosa	1 000 600

Las membranas tubulares van montadas en el interior de un soporte tubular poroso y son ampliamente utilizadas. Un módulo completo consiste en una membrana tubular dotada de una camisa externa (similar a un intercambiador de calor tubular sencillo). En otros modelos, el líquido tratado es bombeado a través de un tubo poroso a una velocidad suficientemente alta como para conseguir un flujo turbulento. Después de pasar a través de la membrana el permeado es recogido en una camisa externa. El concentrado es recogido independiente o alternativamente. Se recicla pasándolo de nuevo por la membrana para una nueva concentración. Las membranas de hojas enrolladas en espiral son una variante de la membrana de hoja plana. Dos membranas de lámina plana envuelven un medio poroso que actúa como soporte, con una porción plástica alrededor del tubo central. El tubo

conecta con el material poroso a través de un espacio en el sistema filtrante. Las hojas enrolladas en espiral se encuentran situadas en el interior de un tubo de metal cilíndrico. El líquido sometido a presión en el tubo fluye a lo largo de él. El permeado, después de pasar a través de las membranas es retirado del sistema por medio del soporte poroso central. Con este diseño se puede crear una gran superficie de membrana albergada en un espacio sometido a baja presión, lo cual se traduce en una reducción considerable de los costos del sistema (Figuras 2 y 3).

Otro de los sistemas de membrana que han tenido más aplicaciones se basa en el empleo de membranas de fibra hueca de poliamidas asimétricas fabricadas por Dupont (3). El empleo de fibras con agujeros de 40 micras y diámetros de 80 micras permiten conseguir que una superficie de membrana pueda ser albergada en un volumen pequeño. Las fibras se encuentran envueltas alrededor de un tubo poroso de alimentación, relleno el espacio existente entre el cilindro central y el externo. El permeado fluye procedente del tubo de alimentación a través de las paredes exteriores de las fibras, para pasar luego al hueco interior de las fibras, el cual a su vez está conectado con el desagüe. El concentrado conteniendo los sólidos disueltos retenidos, no pudiendo atravesar la membrana fluye al desagüe del concentrado.

FIGURA 2: Configuración de una membrana tubular.

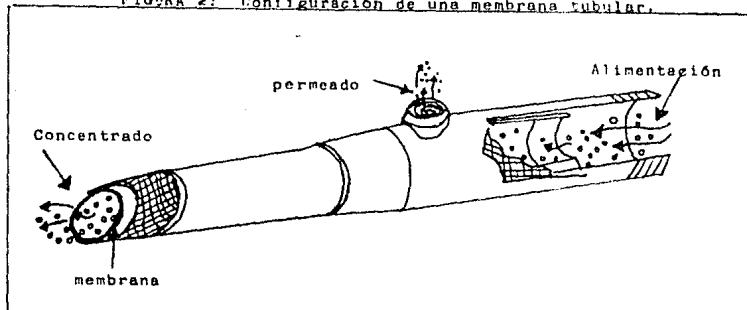
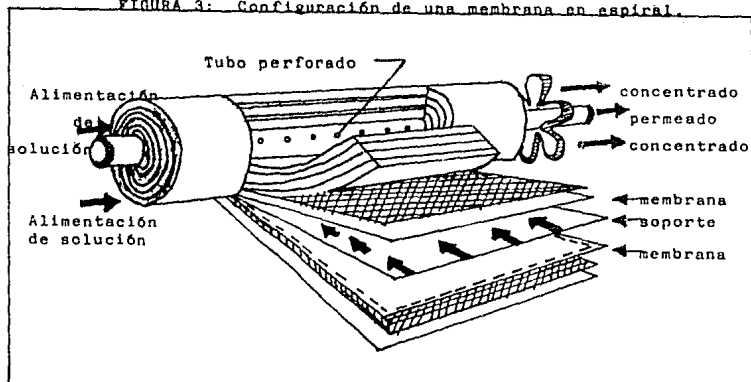


FIGURA 3: Configuración de una membrana en espiral.



I-8 Parámetros que influyen sobre el flujo de permeación durante la ultrafiltración.

El flujo de permeación es la velocidad a la cual el filtrado pasa a través de la membrana y emerge de la celda (7). Se puede definir también como la velocidad de flujo por superficie unitaria de membrana (52). Generalmente el fabricante proporciona el flujo de permeación para agua destilada a 25°C. Dichos valores son extremadamente altos si se les compara con los que se obtienen en la práctica para productos alimenticios.

Los parámetros que influyen sobre el flujo de permeación son (7, 14, 52):

- 1-Concentración del fluido.
- 2-Temperatura.
- 3-Diferencia de presión transmembrana.
- 4-Velocidad de alimentación.

I-8-1. Relación de la concentración sobre el flujo de permeación.

Se ha encontrado que el flujo de permeación suele depender de

la concentración de solutos en el fluido (7, 14). Se han propuesto muchas expresiones, pero la ecuación que se acepta más ampliamente es:

$$J = K_c \ln C_w / C_1 \quad [1]$$

Donde:

J = Flujo o flux de permeación [=] $m^3/s m^2$

K_c = Coeficiente de transferencia de masa [=] $m^3/s m^2$

C_w = Concentración en la superficie de la membrana [=] $g mol/m^3$

C_1 = Concentración en el seno de la solución [=] $g mol/m^3$

C_w/C_1 = Relación de polarización de la membrana

La polarización de la concentración se debe a la acumulación de soluto en la interfase, ocasionando la formación de una capa viscosa que dificulta el flujo del fluido a través de la membrana y lleva consigo un rápido descenso en el flujo. La velocidad de difusión de las moléculas hacia el seno de la solución es igual a la velocidad del soluto hacia la superficie de la membrana. (52).

Distintos diseños de módulos de membranas han intentado contrarrestar el descenso del flujo resultante de la polarización de la concentración por efecto ya sea del incremento de la velocidad de flujo, de la disminución del diámetro del tubo o

placa de separación y del uso de zonas cortas de paso.

I-8-2. Relación de la temperatura con el flujo de permeación

La relación de la temperatura con el flujo de permeación se describe mediante la ecuación de Arrhenius (7, 52):

$$J = J_0 e^{-E_a/RT} \quad [2]$$

Donde:

J=Flujo de permeación a una temperatura T [=] m³/s m²

J₀=Flujo de permeación a una temperatura T₀ [=] m³/s m²

E_a=Energía de activación [=] J/g mol

T=Temperatura [=] °K

R=Constante Universal de los gases ideales= 8.3144 J/ °K g mol

I-8-3. Relación de la caída de presión transmembrana con el flujo de permeación.

Esta relación queda definida por la siguiente ecuación (7, 52):

$$J = K_m (P_1 - P_2) - (p_1 - p_2)/\mu \quad [3]$$

Donde:

J=Flujo de permeación [=] $m^3/s m^2$

P1-P2=Diferencia de presión transmembrana [=] KN/m^2

$\pi_1-\pi_2$ =Diferencia de presión osmótica transmembrana [=] KN/m^2

K_m =Coeficiente de permeabilidad característico de cada membrana
[=] $m^3/s m^2 atm/m$

μ =Viscosidad de fluido en el momento del proceso [=] $Kg/s m$

I-8-4. Relación de la velocidad de alimentación con el flujo de permeación.

La influencia de la velocidad de alimentación en el flujo de permeación se debe al efecto del régimen de flujo (laminar o turbulento) sobre la transferencia de materia y por lo tanto sobre el coeficiente de transferencia de masa (K). Esto se puede expresar mediante las siguientes ecuaciones (7, 8, 14).

Para flujo turbulento:

$$K/D = (c_1) (\mu/\rho D)^{0.33} (d_h V \rho/\mu)^{0.6} \quad [4a]$$

$$K/D = (c_1) (Sc)^{0.33} (Re)^{0.6} \quad [4b]$$

Para flujo laminar:

$$K/D = (c2) \left[\left(\frac{dhV\theta}{\mu} \right) \left(\frac{\mu}{\theta D} \right) \right]^{1/3} \quad [5a]$$

$$K/D = (c2) (Re Sc d/L)^{1/3} \quad [5b]$$

Donde:

K=Coefficiente de transferencia de masa [=] m²/s m²

dh=diámetro hidráulico [=] m

V=Velocidad de alimentación [=] m³/s

θ=Densidad del fluido [=] Kg/m³

μ=Viscosidad del fluido [=] Kg/s m

D=Difusividad del componente retenido [=] m²/s

Re=Número de Reynolds.

Sc=Número de Schmidt.

c1 y c2 = constantes

I-8-5. Influencia de las características de la membrana sobre el flujo de permeación.

La característica de la membrana que afecta al flujo de permeación es la selectividad o grado de retención, denominado límite nominal de exclusión molecular. El límite de exclusión

molecular expresa que una membrana con límite A retendrá más del 90% del soluto A de partículas esféricas y sin carga, con un peso molecular igual a A o mayor a éste y que las partículas menores a A/1 000 pasarán libremente a través de la membrana, mientras que aquellas con pesos moleculares entre A/1 000 y A serán retenidas parcialmente de acuerdo con la distribución del tamaño del poro de la membrana. El grado de retención para un componente A está dado por la siguiente expresión (7):

$$R_A = C_A - C_{AD} / C_A \quad [6]$$

Donde:

R_A = Grado de retención del componente A.

C_A = Concentración del componente A en la alimentación del sistema [=] g mol/m³

C_{AD} = Concentración del componente A en los permeados [=] g mol/m³

I-9 Ventajas y desventajas de la ultrafiltración.

El empleo de la ultrafiltración ofrece diversas ventajas con respecto a otras técnicas empleadas convencionalmente en el área de los alimentos y productos biológicos.

-Es un proceso no térmico, con lo cual se previenen muchos de los efectos no deseables asociados a los cambios de fase, como lo son: la desnaturalización de proteínas, colapso de geles, rompimiento de emulsiones, así como daños mecánicos (9).

-El riesgo de daño por calentamiento está eliminado al no ser necesaria una elevación en la temperatura, la pérdida de aroma debida a la eliminación de sustancias volátiles no tiene lugar (3).

-Los procesos de concentración tienen lugar sin cambio de fase, requiriendo de una cantidad menor de energía que operaciones como la evaporación, por lo que los costos se reducen (58).

-La capacidad de los equipos de ultrafiltración se pueden variar sin costosas modificaciones, ya que se diseñan en forma de módulos que se añaden fácilmente para aumentar el área de ultrafiltración. Además, por la fácil configuración de las unidades para formar grandes sistemas, se pueden llevar a cabo procesos continuos de producción (59).

-Mejor uso de subproductos así como mayores posibilidades para el desarrollo de nuevos productos y procesos (57).

Las desventajas que se presentan en la ultrafiltración son:

a) La formación de incrustaciones sobre la membrana, lo que con el tiempo conduce a una reducción significativa del área de ultrafiltración, haciendo necesario un reemplazo constante de las membranas, incrementando los costos de producción.

b) En ocasiones los microorganismos presentes en el fluido al inicio del proceso, son retenidos por las membranas, ocasionando la descomposición del producto, esto implica la necesidad de utilizar métodos para prevenir la presencia de aquellos. Esto se puede convertir en una ventaja en un proceso de fermentación, ya que la leche es concentrada y fermentada al mismo tiempo, logrando un proceso continuo (59).

I-10. Aplicaciones de la ultrafiltración.

La ultrafiltración era considerada hasta hace poco como una técnica de laboratorio muy sofisticada, sólo aplicable en la investigación y en medicina. Hoy en día tiene diversas aplicaciones industriales (39). Se ha utilizado en fluidos biológicos e inorgánicos, en las industrias de alimentos y química (3). Las aplicaciones de la ultrafiltración generalmente caen dentro de las siguientes categorías:

Concentración. Es posible concentrar una solución muy diluida si se trata de solutos de alto peso molecular, con este fin se emplean membranas permeables exclusivamente al disolvente,

que en la mayoría de los alimentos es agua (7, 59). Como ejemplos tenemos: concentración de leche, jugo de frutas, soluciones poliméricas como proteínas de la sangre, extractos de café, savia de arce melífero, vacunas y enzimas, lactosa para alimentos infantiles, emulsiones de aceite, productos de suero de maíz y extractos de vainilla (49, 58).

Purificación. Una de las aplicaciones de mayor interés es la purificación y concentración simultánea de fluidos de origen biológico, los que contienen solutos de distinto peso molecular. Ejemplos de lo anterior son: purificación mediante eliminación de sales minerales y otros componentes de bajo peso molecular, purificación de colorantes naturales, de proteína de soya, enzimas de origen microbiano, concentración y purificación de extractos de proteína soluble de origen vegetal como soya, cacahuete y haba (19, 58, 59).

Fraccionamiento. Separación de especies moleculares de tamaño y peso significativamente diferentes. Se emplea en fluidos que contienen en solución varias especies donde la recuperación de cada una de ellas por separado, incluyendo el disolvente, resulta complicado y costoso por los métodos convencionales. Ejemplo: lactosuero de quesería (58).

I-11 Elaboración de quesos por ultrafiltración

Si la leche descremada se concentra por medio de unas membranas hasta alcanzar un contenido determinado de proteínas y se le adiciona grasa, el concentrado líquido resultante sólo requeriría de la adición de cultivos microbianos, cuajo y sal para transformarse en queso. Desde el punto de vista del procesamiento, la ultrafiltración y los procedimientos comunes de elaboración de quesos cumplen el mismo objetivo: los dos fraccionan los componentes de la leche en suero y en cuajada sólida (12, 17).

Normalmente un 85 a 95% de grasa láctea y un 95% de proteína es incorporada al queso. La retención de sales lácteas, especialmente fosfato de calcio, depende de la acidez del cuajo. Otros minerales, tales como sales de sodio y potasio también quedan diluidos en el suero.

En la ultrafiltración, la membrana funciona como una esponja al retener ciertos componentes lácteos que por métodos convencionales se perderían en el lactosuero. El permeado de ultrafiltración es similar al suero de queso excepto que no contiene proteínas del lactosuero debido a que las membranas son más permeables que el cuajo de queso, por lo que el 99% de la grasa y el 98% de las proteínas del suero quedan en el concentrado (48). Por otra parte, la recuperación de fosfato de calcio en el concentrado depende del pH de la leche. La retención

de vitaminas en el concentrado es evidente. Se ha encontrado que éste contiene 98% de vitamina B12, 95% de ácido fólico, 62% de tiamina, 61% de riboflavina, 59% de niacina y 63% de biotina presentes en la leche (62).

Las ventajas que ofrece la ultrafiltración en la elaboración de quesos son las siguientes (12, 13, 15, 18, 20, 21, 40, 41, 43):

- 1-Incremento en el rendimiento quesero del 16 al 20 %.
- 2-Aumento en el valor nutricional del queso obtenido al retener el 98% de las proteínas del suero.
- 3-Ahorro de aproximadamente 80% en cuajo por volumen de leche.
- 4-Reducción en la pérdida de vitaminas del complejo B.
- 5-Efluente menos contaminante.
- 6-Eliminación parcial o total de antibióticos en leche.
- 7-Menor área de trabajo requerida para su elaboración.
- 8-Posibilidad de llevar a cabo un proceso continuo.

II-DISEÑO EXPERIMENTAL

II-1 Objetivos

-Objetivo General

Realizar un estudio comparativo de dos métodos de elaboración de queso tipo "chihuahua" empleando la técnica tradicional y un concentrado proteico obtenido por ultrafiltración, para establecer una alternativa tecnológica.

-Objetivos Particulares:

a) Establecer las variables más importantes: porcentajes de cultivo iniciador, de cuajo, y de cloruro de calcio, cinéticas de maduración y coagulación, en la técnica tradicional de elaboración de queso tipo "chihuahua".

b) Fijar las condiciones de operación del proceso de ultrafiltración, estableciendo los flujos de permeación y los perfiles de concentración de proteína, grasa, lactosa, cenizas, sólidos totales, grados brix e índices de refracción del concentrado y permeado obtenidos durante el proceso de concentración.

c) Establecer el método de elaboración de queso tipo "chihuahua" a partir de un concentrado proteico obtenido por ultrafiltración, fijando las siguientes variables: porcentajes de

cultivo iniciador, de cuajo y de cloruro de Calcio. cinética de maduración y coagulación.

d) Estimar los cambios en pH, relación de maduración, porcentaje de ácidos grasos libres y pérdida de peso durante la maduración de los quesos obtenidos por ambos métodos.

e) Evaluar la calidad final y la aceptabilidad de los productos obtenidos por ambos métodos, comparándolos con un producto similar existente en el mercado y con la Norma Oficial Mexicana en vigencia (46).

II-2 Hipótesis de trabajo

Si se elabora queso tipo "Chihuahua" a partir de un concentrado proteico obtenido por ultrafiltración, entonces la cantidad de cuajo, de cloruro de calcio y de cultivo iniciador será menor y el rendimiento quesero se incrementará, obteniéndose un producto de calidad similar al queso tradicional.

II-3 Material y equipo

La materia prima utilizada fué leche de vaca libre de antibióticos y que cumpla con las mínimas normas de calidad (1), cuajo natural, cloruro de calcio, colorante marca "CUAMEX", cera grado alimenticio, cultivos liofilizados "DRI-VAC" y leches en polvo "Bacto SKIM-MILK" y "Sveltes"

Los reactivos utilizados fueron de grado analítico a partir de los cuales se prepararon las soluciones requeridas para cada determinación.

El equipo utilizado presenta las siguientes características:

1) Ultrafiltro ABCOR con membrana polisufona de 1 000 Daltons de límite de exclusión molecular y un área filtrante de 4 m² (Figura 4).

Las características de la membrana son:

-Configuración en espiral	
-Flujo de agua a 3.4 atmósferas y 25°C	150 l/m/h.
-Rango de temperaturas de operación	25-50°C.
-Rango de pH	0.5-12
-Máxima exposición al cloro	500 ppm.

2) Marmita de acero inoxidable acabado sanitario con sistema de volteo y válvulas de seguridad, manómetro, termómetro y trampa termodinámica para condensados.

3) Descremadora con capacidad de 20 l/hr. y motor monofásico.

4) Tina para elaborar quesos de acero inoxidable con capacidad de 150 y 20 l.

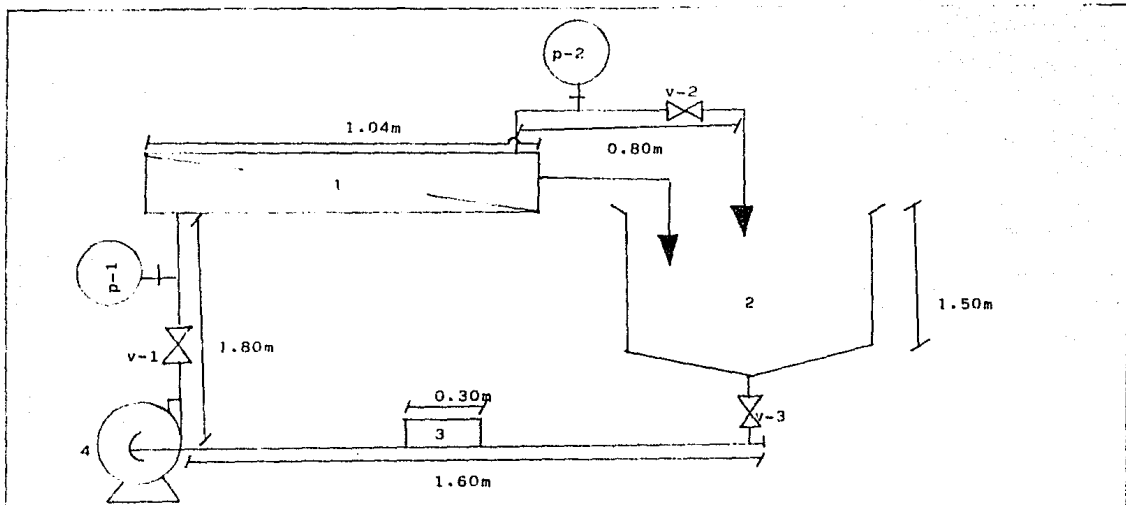


FIGURA 4:	
Sistema de Ultrafiltración.	
LANFI	20-09-90
DISÑO: MATM	ESCALA: S/M
ACOTACIONES: m	DIBUJO: ATM

ANOTACIONES:
1- Membrana en espiral.
2- Tanque de alimentación.
3- Prefiltro.
4- Bomba centrífuga.
v-1 Válvula de paso.
v-2 Válvula de paso.
v-3 Válvula de paso.
p-1 Manómetro.
p-2 Manómetro.

II-4 Metodología Experimental

Para realizar los objetivos particulares se llevó a cabo la siguiente metodología experimental (Cuadro 6).

1-Muestreo de la leche.

Se realizó un muestreo en 10 establos de la delegación Azcapotzalco durante 3 días elegidos al azar. Se realizaron las determinaciones de acidez, pH, grados Brix, y determinación de densidad (16, 17). Se llevó a cabo la prueba de difusión standard para la determinación de residuos de antibióticos y sulfamidas en leche. Esta prueba consiste en colocar una muestra de leche con una ampoyeta conteniendo Bacillus stereothermophyllus var calidolactis en medio sólido con una tableta nutritiva, se incubó a 64°C. durante 2 horas y media y posteriormente se realiza la lectura. Se seleccionaron las muestras que no presentaron antibióticos y cuyas características físicoquímicas se ajustaban a los rangos reportados para una leche sin adulteraciones (1).

2-Elaboración de queso tipo "Chihuahua" por método tradicional.

a) Se llevó a cabo un análisis químico proximal de la leche de vaca utilizada en la elaboración de queso. Se hicieron determinaciones por triplicado de: humedad mediante estufa, proteína por método de Kjeldhal, cenizas por método general de incineración, grasa por método de Gerber (10, 50) y lactosa utilizando el método de Nickerson et. al (45) recomendado para leche y derivados.

b) Se prepararon los cultivos lácticos utilizados en la elaboración de queso. Esta etapa comprende la activación, propagación y preparación de cultivo madre e iniciador (37) Posteriormente se determinó el tipo y porcentaje de cultivo láctico, se tomaron muestras de 300 ml. de leche y se adicionaron cultivos para elaborar queso (Streptococcus lactis, S. cremoris y S. diacetilactis), cultivos para elaborar yoghurt (S. thermophyllus, y Lactobacillus bulgaricus) y una mezcla de ambos cultivos en cantidades de 1, 2 y 3% cada uno, se incubaron a 32°C. y se determinaron pH y acidez cada 30 minutos hasta llegar a 6 (pH de maduración de la leche) y a 5.2 (pH de fundición de la cuajada). Se determinó el tiempo de maduración y coagulación de la leche y se realizaron las cinéticas respectivas. Las cantidades de cuajo, calcio y colorante se ajustaron de acuerdo con los datos bibliográficos (1, 42, 60).

c) Una vez determinadas las variables de estudio, se siguió la metodología para elaborar queso tipo "Chihuahua" (Cuadro 7). Se realizaron determinaciones por triplicado de: humedad por arrastre de tolueno, proteína por método de Kjeldhal, grasa por método de Gerber, cenizas por método general de incineración y cloruro de sodio por método de Volhard en el queso elaborado por este método (17).

3-Condiciones de operación del proceso de ultrafiltración.

a) Para obtener el concentrado proteico utilizado en la elaboración del queso, fué necesario establecer las condiciones de operación del proceso de ultrafiltración de la leche se realizaron diferentes corridas variando las caídas de presión transmembrana (74, 233 y 309 KN/m²), las temperaturas (4, 32 y 50°C.) y pH (6 y 6.5). Se utilizó leche reconstituída "Liconsa" al 10% de sólidos totales. utilizando lotes de 100 l. en cada corrida. Para cada presión, temperatura y pH, se determinó el flujo de permeación cada 10 minutos a fin de conocer su perfil de comportamiento. El proceso se detuvo cuando el concentrado alcanzó 37% de sólidos totales para cada uno de los experimentos.

b) Una vez establecidas las condiciones de operación, se realizó una corrida tomando muestras cada 10 minutos tanto del permeado como del concentrado, realizando los análisis de grasa, proteína, cenizas y lactosa por los mismos métodos que para la leche (10, 22).

4-Elaboración de queso tipo "Chihuahua" a partir de un concentrado proteico obtenido por ultrafiltración.

a) Se determinó el tipo y cantidad de cultivo láctico, tomando muestras de 300 ml. de concentrado y se adicionaron 3, 6, 9 y 12% de cultivos para elaborar queso (Streptococcus lactis, S. cremoris y S. diacetilactis), cultivos para elaborar yoghurt (S. termophilus y Lactobacillus bulgaricus) y una mezcla de ambos cultivos. Se incubaron a 32°C. y se determinó el pH cada media hora hasta alcanzar un valor de 5.9 (pH de maduración de la leche) y hasta 5.2 (pH de fundición de la cuajada) Con esta prueba de diferentes cultivos y cantidades se encontró el porcentaje y tipo de cultivo requerido para llegar al pH de maduración y de fundición de la cuajada en el tiempo más corto.

b) Una vez determinado el tipo y porcentaje de cultivo láctico, se determinó la cantidad de cuajo que debe adicionarse al concentrado. Se tomaron 5 muestras de 250 ml. de concentrado, se llevaron al pH de maduración con ácido láctico diluido 1:10 y se probaron concentraciones de cuajo de 100, 50, 40, 30 y 20% (siendo el 100% igual a 1 ml. de cuajo por 10 l. de concentrado). Se determinó el tiempo de coagulación para cada muestra. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado.

c) Posteriormente se determinó la cantidad de cloruro de calcio a emplear, tomando dos muestras de 250 ml. de concentrado, se adicionaron cultivos y cuajo en las cantidades establecidas

previamente y se agregó a una muestra 0.03% de cloruro de calcio y a la otra no se le adicionó ninguna cantidad. Se determinó el tiempo de coagulación para ambas muestras.

d) Una vez establecidas las variables de estudio, se procedieron a elaborar 5 quesos tipo "Chihuahua" de 1 kg. De acuerdo con la metodología del cuadro 8. Se realizó un análisis químico proximal del queso por los mismos métodos que para el queso elaborado por método tradicional.

5-Estudio de maduración de los quesos obtenidos

Se colocaron 5 muestras de queso elaborado por ultrafiltración y 5 por método tradicional en la cámara de maduración a una temperatura de 10-12°C y una humedad relativa de 85-90%. Se dejaron secar durante una semana en una cámara a temperatura ambiente, determinando la pérdida de peso de cada uno de ellos. Posteriormente se cubrieron con cera líquida.

Se determinó el pH, la relación de maduración (nitrógeno soluble/nitrógeno total por 100) (17); porcentaje de ácidos grasos libres mediante valoración acidimétrica (22), cada semana durante 1 mes de maduración de las muestras de queso.

6-Evaluación de la calidad final y de la aceptabilidad de los productos obtenidos.

Al final de la maduración se realizó una evaluación química: porcentajes de humedad, de grasa, de proteína, de cenizas, de cloruro de sodio y pH (17) y una evaluación microbiológica: cuenta de coliformes, Escherichia coli, y Salmonella sp. (36) de los productos obtenidos por ambos métodos, comparándolos con la Norma Oficial Mexicana vigente (46) para queso tipo "Chihuahua".

Para conocer la aceptabilidad de los productos elaborados, se aplicó una prueba de preferencia empleando a 20 panelistas, utilizando una escala hendónica de 9 puntos. Posteriormente para establecer si existía diferencia distinguible entre los productos elaborados en el laboratorio y uno del mercado, se aplicó una prueba triangular, la cual consiste en comparar dos muestras del mismo queso con una muestra comercial (queso Chihuahua Menonita) y someterlo a una evaluación con 20 panelistas para establecer si encuentran diferencias entre las tres muestras presentadas. Se aplicó esta prueba para el queso tradicional y otra para el queso por método de ultrafiltración (44).

7-Tratamientos estadísticos.

Para el análisis de los resultados se utilizó el análisis de varianza que puede definirse como una técnica mediante la cual la variación total presente en un conjunto de datos se distribuye en varias componentes. Cada una de estas está asociada a una fuente

específica de variación, de modo que en el análisis es posible averiguar la magnitud de las contribuciones de cada una de estas fuentes a la variación total (6). Se usa el análisis de varianza con el fin de estimar y probar hipótesis acerca de las medias de las poblaciones (se prueba que las medias de los tratamientos son iguales, como hipótesis nula o H_0 , y que son diferentes como hipótesis alterna H_1).

Para determinar el tipo y porcentaje de cultivo láctico a emplear en la elaboración de queso por método tradicional y por ultrafiltración se diseñó un experimento factorial (2 factores), el cual se aplica cuando se desea estudiar el efecto de 2 o más variables simultáneamente. No sólo pueden estudiarse los efectos de los factores individuales, sino también las interacciones entre ellos. En este caso sólo es de interés estudiar los factores individuales. Para el queso por método tradicional tenemos al factor "A" (tipo de cultivo), con tres niveles de variación: cultivos para queso, yoghurt y una mezcla y como factor "B" (porcentaje de cultivo) tenemos tres niveles de variación: 1, 2, y 3%. Para el queso por ultrafiltración, el factor "A" y los niveles de variación son iguales en el primer caso y para el factor "B" tenemos cuatro niveles de variación: 3, 6, 9 y 12% de cultivo láctico.

Para establecer las condiciones de operación en la ultrafiltración se realizó un análisis de varianza de una vía para establecer si existía diferencia significativa entre los promedios de las muestras. Se realizó este análisis para cada una

de las variables de estudio: presión, temperatura y pH. Para establecer la presión se tuvieron tres niveles de variación: 74, 233 y 309 KN/m². Para la temperatura se tuvieron tres niveles de variación: 4, 32 y 50°C y para el pH dos niveles: 6.0 y 6.5.

Para determinar los porcentajes de cuajo y calcio en la elaboración de queso por ultrafiltración se realizaron análisis de varianza de una vía a fin de encontrar si existía diferencia significativa entre los promedios de las muestras. Para el porcentaje de cuajo los niveles de variación fueron: 100, 50, 40, 30 y 20% y para el porcentaje de calcio fueron de 0 y 0.03%.

Para estimar los cambios de pH, relación de maduración, porcentaje de ácidos grasos libres y pérdida de peso, se aplicó el método estadístico conocido como de bloques completos aleatorios. Este es un diseño en el que las unidades (llamadas unidades experimentales) a las que se les aplican los tratamientos se subdividen en bloques homogéneos llamados bloques, de modo que el número de unidades experimentales en un bloque es igual (o un múltiplo) al de tratamientos que se están estudiando. Entonces se asignan al azar los tratamientos a las unidades experimentales dentro de cada bloque. Debe aplicarse cada tratamiento a todos los bloques (6), Para este experimento los bloques fueron: semana 1, 2, 3 y 4 y los tratamientos fueron: método tradicional y método por ultrafiltración de elaboración de quesos.

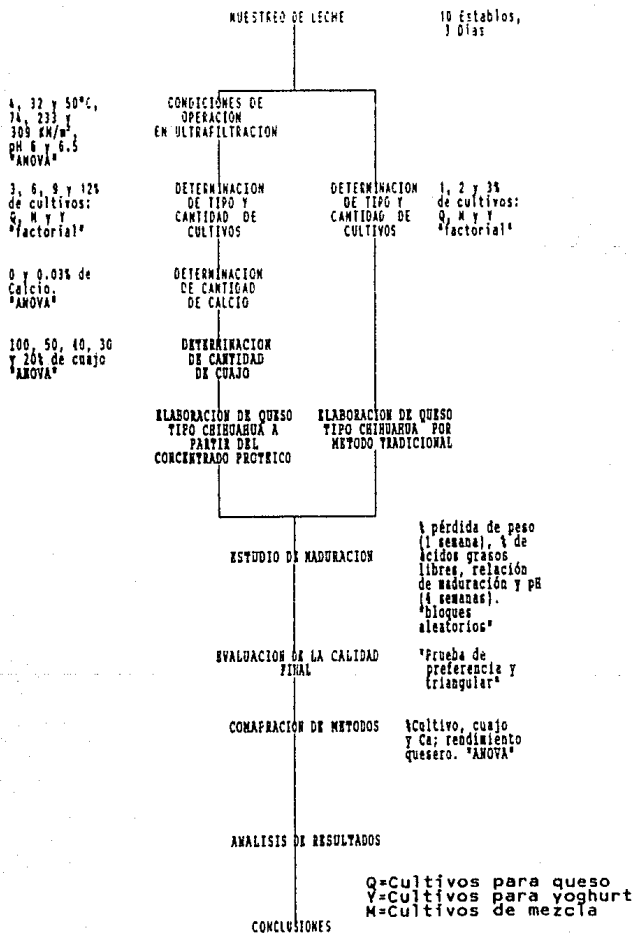
Posteriormente, para saber cuál de las medias de los

tratamientos fué la que causó diferencia significativa o altamente significativa en el rechazo del análisis de varianza, se aplicó la prueba de Tukey. Este método (prueba DMSH) es una prueba con poca potencia (potencia $=1-\beta$), o sea, que no permite pasar falsos resultados, ya que hipótesis que son ciertas muchas veces son rechazadas a diferencia de la prueba DMS (diferencia mínima significativa de Student), que es una prueba múltiple de "t" de Student con alta potencia pero baja rigurosidad, aumentando la probabilidad de cometer error tipo I dejando pasar muchas hipótesis como verdaderas (23).

Para la evaluación de la calidad de los productos, se aplicó una prueba triangular y una de preferencia con una escala hedónica de nueve puntos y en el análisis de los resultados se aplicó una prueba de Fisher y una de χ^2 respectivamente.

Todos los experimentos se realizaron con tres repeticiones y con un nivel de significancia de 0.05%.

**CUADRO 6
DIAGRAMA EXPERIMENTAL**



CUADRO 7
DIAGRAMA DE FLUJO DE ELABORACION
DE QUESO CHIHUAHUA POR METODO TRADICIONAL

	LECHE
63°C, 30 min	PASTEURIZACION
1, 2 y 3% de cultivo Q, M y Y.	ADICION DE CULTIVOS LACTICOS
0.01% colorante 0.03% Ca	ADICION DE CA Y COLORANTE
10 ml. de cuajo para 100 l. leche	ADICION DE CUAJO
	COAGULACION
1 ca. ²	CORTE
25% de suero	DESUERADO
30 min, 40 °C.	CHEDDARIZACION
cada 15 min.	VOLTEADO DE CUAJADA
	DESUERADO TOTAL
salmuera 13%, 7 min.	SALADO
12 horas, 1 kg/cm ²	PRENSADO
cera a 80-85°C.	ENCERADO
10-12°C, 1 mes, H.R. 90%	MADURADO

Q=Cultivo de queso
 Y=Cultivo de Yoghurt
 M=Cultivo de mezcla

CUADRO 8
DIAGRAMA DE FLUJO DE ELABORACION
DE QUESO CHIHUAHUA POR ULTRAFILTRACION

	LECHE
2.6% grasa	DESCREMAJE
63°C, 30 min	PASTEURIZACION
74, 233 y 309 kM/m ² , 4, 32 y 50°C, pH 6.0 y 6.5 y 37% de sólidos totales	ULTRAFILTRACION
3, 6, 9 y 12% de cultivo Q, M y Y.	ADICION DE CULTIVOS LACTICOS
0.01% colorante 0 y 0.03% Ca	ADICION DE Ca Y COLORANTE
100, 50, 40, 30 y 20 % de cuajo	ADICION DE CUAJO
	COAGULACION
1 ca. ³	CORTE
25% de suero	DESUERADO
30 min, 40 °C.	RECONDICIONAMIENTO
cada 15 min.	VOLTEADO DE CUAJADA
	DESUERADO TOTAL
salmuera 13%, 10 min.	SALADO
12 horas, 1 Kg/cm ²	PRENSADO
cera a 80-85°C.	ENCERADO
10-12°C, 1 mes, H.E. 90%	MADURADO

Q=Cultivo para queso
 Y=Cultivo para yoghurt
 M=Cultivo de mezcla

III-RESULTADOS Y ANALISIS

Muestreo de leche.

Para la elaboración de quesos fué necesario utilizar leche fluida libre de antibióticos u otros inhibidores bacterianos, ya que con frecuencia se utilizan en el tratamiento de vacas que sufren mastitis y que en la leche pueden quedar restos de ellos durante 3 días después del tratamiento. Además de los posibles efectos nocivos a la salud debido a la presencia de éstos residuos, los antibióticos en la leche causan dificultades en la elaboración de quesos al inhibir la actividad de los cultivos lácticos. Para conocer la calidad de la leche y seleccionar al proveedor. se realizó un muestreo en 10 establos de la delegación Azcapotzalco, México, D.F.

Se tomaron 3 muestras de cada establo en diferentes días de producción y se realizaron las pruebas fisicoquímicas y la de presencia de antibióticos. Esta prueba se realizó cada vez que se elaboró queso, ya que existía la posibilidad de que estuvieran presentes en alguna muestra de cualquier otro día, pues los ganaderos no toman las precauciones necesarias después de haber tratado a su ganado enfermo. Este muestreo sirvió para establecer de manera indicativa a los proveedores de leche. Los resultados

del muestreo se reportan en los cuadros 9 y 10.

CUADRO 9
 Detección de antibióticos en 10 muestras de leche de vaca en 10 establos de la delegación de Azcapotzalco.

Establos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1	-	+	+
2	-	-	-
3	+	+	+
4	-	-	-
5	-	-	-
6	+	+	+
7	+	+	+
8	+	+	+
9	-	+	+
10	+	+	+

Los resultados de las pruebas fisicoquímicas se reportan en el cuadro 10, en el que se presenta un promedio de las tres muestras obtenidas de cada establo.

CUADRO 10
 Pruebas fisicoquímicas de 10 muestras de leche de vaca provenientes de 10 establos de la delegación Azcapotzalco.

Establo	pH	% Acidez	*Bx	Índice de Refracción	Densidad (g/cm ³)
1	6.4	0.17	8	1.3450	1.023
2	6.5	0.16	8	1.3485	1.028
3	6.4	0.17	9	1.3470	1.027
4	6.5	0.16	10	1.3480	1.029
5	6.4	0.17	10	1.3485	1.029
6	6.5	0.16	9	1.3466	1.028
7	6.5	0.17	8	1.3455	1.025
8	6.6	0.15	9	1.3460	1.025
9	6.5	0.16	8	1.3450	1.025
10	6.4	0.17	9	1.3488	1.028

Después de realizar un análisis de los resultados obtenidos,

se seleccionaron como proveedores de leche a los establos 2, 4 y 5. Las muestras de leche obtenidas de estos establos fueron las únicas que no presentaron antibióticos durante los 3 días seleccionados al azar. Además, se encontró que las características fisicoquímicas más adecuadas para elaborar queso por su pH y acidez fueron las presentadas por las muestras de estos 3 establos. Por otro lado, el índice de refracción, la densidad y °Bx entran en el rango reportado bibliográficamente para una leche normal (1), es decir, no presentaron adulteraciones. En las otras 7 muestras, se encontraron densidades, índices de refracción y °Bx más bajos que los rangos normales y por lo tanto presentan adulteraciones con agua.

Elaboración de queso tipo "chihuahua" tipo tradicional.

Se realizó un análisis químico proximal de la leche fluida de vaca, obteniéndose la composición mostrada en los cuadros 11 y 12.

CUADRO 11:
Composición química de la leche para elaboración de queso por método tradicional.

Proteína	3.60%
Grasa	3.60%
Lactosa	5.25%
Cenizas	0.08%
Agua	87.47%

CUADRO 12:
Propiedades fisicoquímicas de la leche
para elaboración de queso por método tradicional.

Acidez	0.15%
pH	6.5
°Bx	10.00
Densidad	1.029 g/cm ³
I. R.	1.3480

Posteriormente se pasteurizó la leche a 63°C. durante 30 minutos (11) y se estableció el tipo y cantidad de cultivo iniciador a utilizar. Se tomaron muestras de 300 mililitros de leche y se adicionaron 1, 2 y 3% de cultivos para queso, yoghurt y una mezcla de ambos, se incubaron a 32°C. y se determinó el pH. en función del tiempo hasta llegar a 6 (pH de maduración de la leche); posteriormente se determinó el tiempo de llegada a un pH de 5.2, al cual la cuajada empieza a fundir. Los resultados se muestran en los cuadros 13 y 14.

CUADRO 13:
Tiempo de maduración de leche usando
diferentes cultivos lácticos.

% cultivo	Cultivo Queso (horas)	Cultivo Yoghurt (horas)	Cultivo Mezcla (horas)
1	4.0	4.5	3.0
2	3.5	4.0	2.0
3	2.0	2.5	1.0

CUADRO 14:
 Tiempos de coagulación de leche
 usando diferentes cultivos lácticos.

N° cultivo	Cultivo Queso (horas)	Cultivo yoghurt (horas)	Cultivo mezcla (horas)
1	7.5	8.0	6.5
2	6.5	7.0	6.0
3	6.0	6.5	4.5

Las cinéticas de maduración y coagulación de la leche, usando diferentes cantidades y tipos de cultivos se pueden observar en las gráficas 1, 2 y 3.

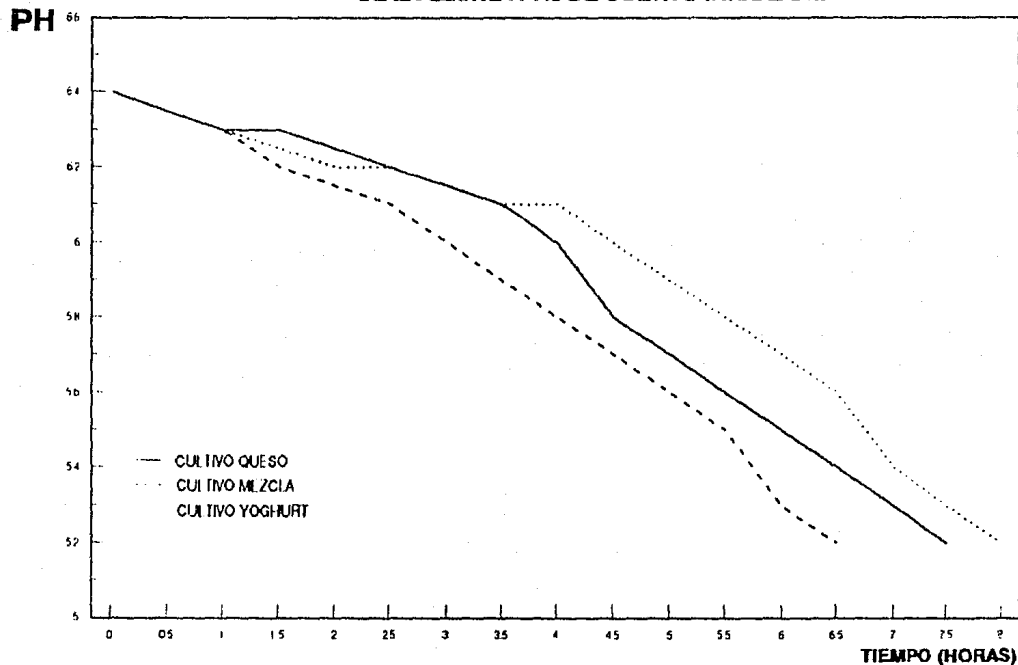
Se analizaron los resultados aplicando un diseño factorial estadístico, encontrándose una diferencia significativa por el efecto del tipo y cantidad de cultivo empleado. Posteriormente se realizó una prueba de Tukey, encontrándose que no existe diferencia significativa entre las medias del cultivo queso-cultivo yoghurt, sin embargo, las medias del cultivo queso-cultivo mezcla y cultivo yoghurt-cultivo mezcla sí presentaron diferencias significativas. Por lo tanto el cultivo iniciador óptimo a utilizar fué el cultivo mezcla en una cantidad de 3 %.

El porcentaje de cuajo fué determinado a partir de la siguiente fórmula (11):

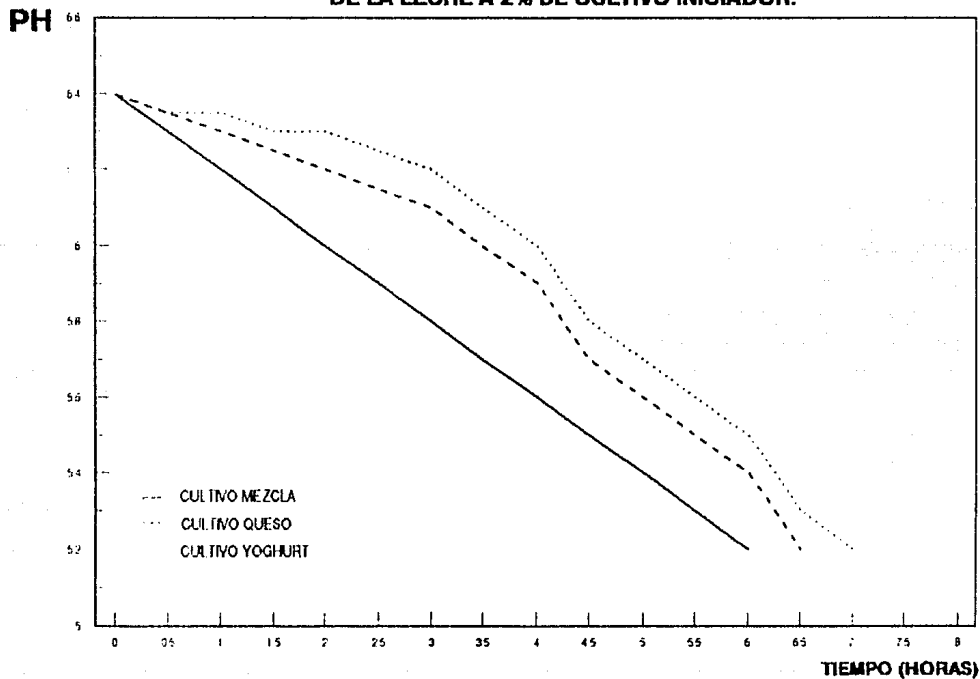
$$F = 40 \text{ l/ct}$$

[7]

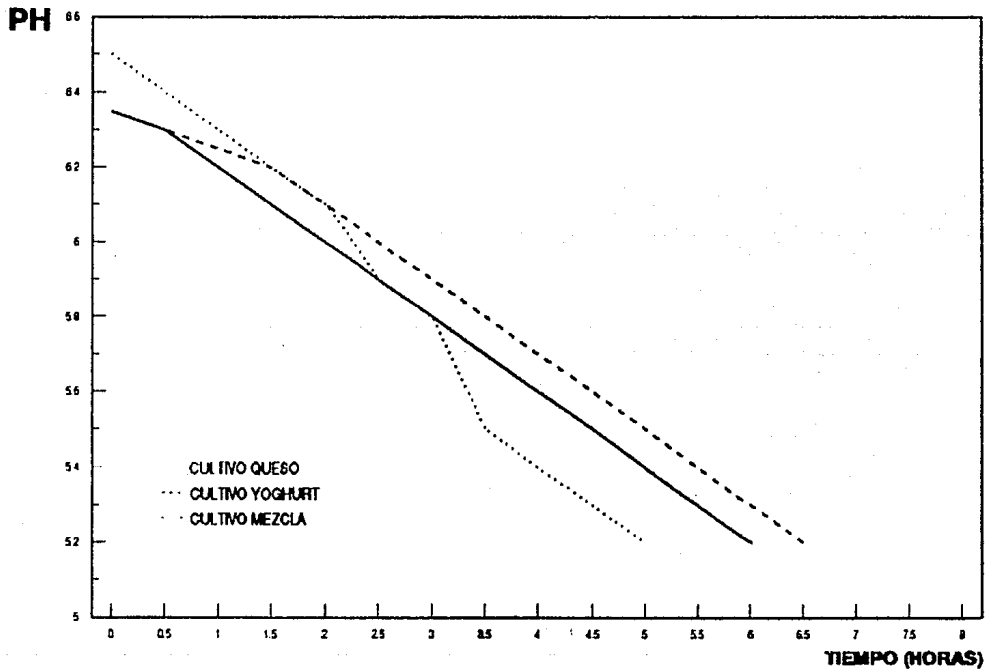
**GRAFICA 1 CINETICA DE MADURACION Y COAGULACION
DE LA LECHE A 1% DE CULTIVO INICIADOR.**



**GRAFICA 2 CINETICA DE MADURACION Y COAGULACION
DE LA LECHE A 2% DE CULTIVO INICIADOR.**



GRAFICA 3 CINETICA DE MADURACION Y COAGULACION DE LECHE A 3% DE CULTIVO INICIADOR.



Donde:

l=Volumen de leche [=] ml.

c=Cantidad de cuajo [=] ml.

t=Tiempo de coagulación [=] min.

F=Fuerza del cuajo.

La fuerza del cuajo líquido es de 1:10 000, por lo que:

$$C = 40 (10\ 000) / 30 (10\ 000) = 1.3\ \text{ml.}$$

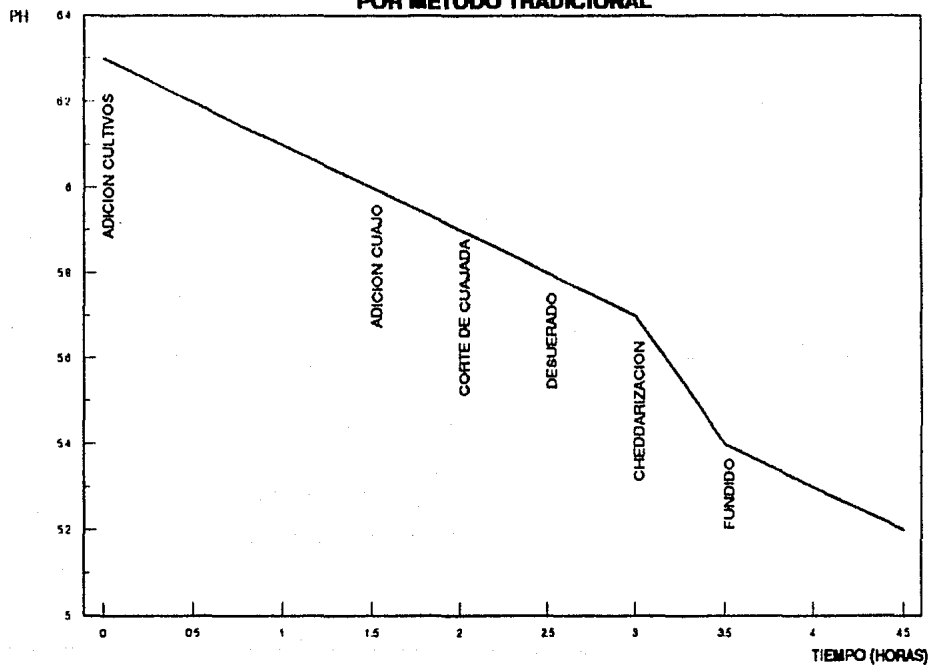
El cuajo se adicionó diluido en un volumen de 40 a 50 veces de agua destilada. Esta dilución facilita y asegura una buena distribución del cuajo en la leche (11).

El % de Calcio fué de 0.03% de una solución diluida al 40% (11, 46). El colorante utilizado fué achiote natural. Su cantidad empleada fue de 0.01%, la cual se determinó comparando el color obtenido con un queso Chihuahua comercial y tomando en cuenta el valor establecido por la Norma Oficial Mexicana (46).

Una vez establecidos los parámetros anteriores se utilizó la metodología señalada en el cuadro 7.

La cinética de elaboración de queso se observa en la gráfica 4.

**GRAFICA 4 CINETICA DE COAGULACION DE ELABORACION DE QUESO
POR METODO TRADICIONAL**



Condiciones de operación del proceso de ultrafiltración

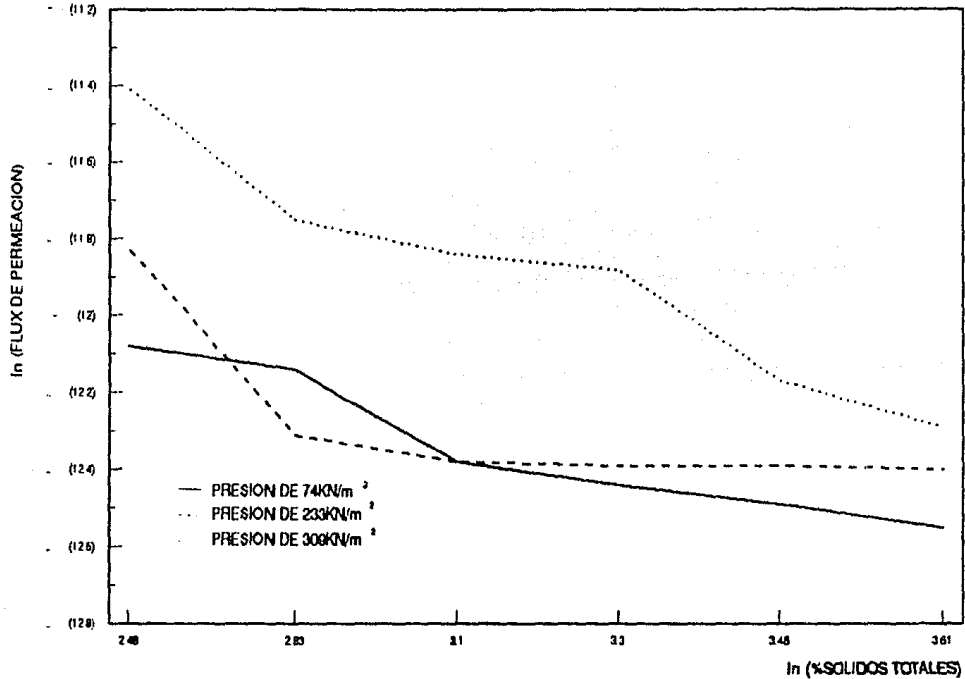
Las condiciones de operación se establecieron al realizar un estudio de los parámetros que influyen en el flujo de permeación durante la ultrafiltración.

La concentración del soluto es uno de los factores que más afectan al flujo de permeación. Esto se debe a la formación de la capa limitante, que crea una resistencia al flujo. Se encontró una relación logarítmica (\ln) entre el flujo de permeación y la concentración de sólidos totales. La relación empírica que lo establece y que corresponde a una línea recta es:

$$\ln J = m \ln \% \text{ sólidos totales} + b \quad [8]$$

A medida que la ultrafiltración transcurre, la concentración del macrosoluto de la solución aumenta y el flujo decrece en forma continua. Para ilustrar esto tenemos que al concentrar leche del 12 al 27% de sólidos totales a la presión máxima de 309 KN/m² el flujo decreció en 43.87% y al concentrar de un 12 a un 37% de sólidos totales decrece un 58.64% (Gráfica 5). Al aplicar una prueba de Tukey se encontró diferencia significativa entre los flujos a 27 y a 37% de sólidos totales con respecto al inicial. Por lo tanto, entre más baja la concentración mayor será el flujo a una presión determinada. El flujo de permeación depende de la caída de presión transmembrana. Esta se calculó con la siguiente fórmula:

GRAFICA 5 FLUJOS DE PERMEACION EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DE SOLIDOS TOTALES EN EL CONCENTRADO A 40 °C



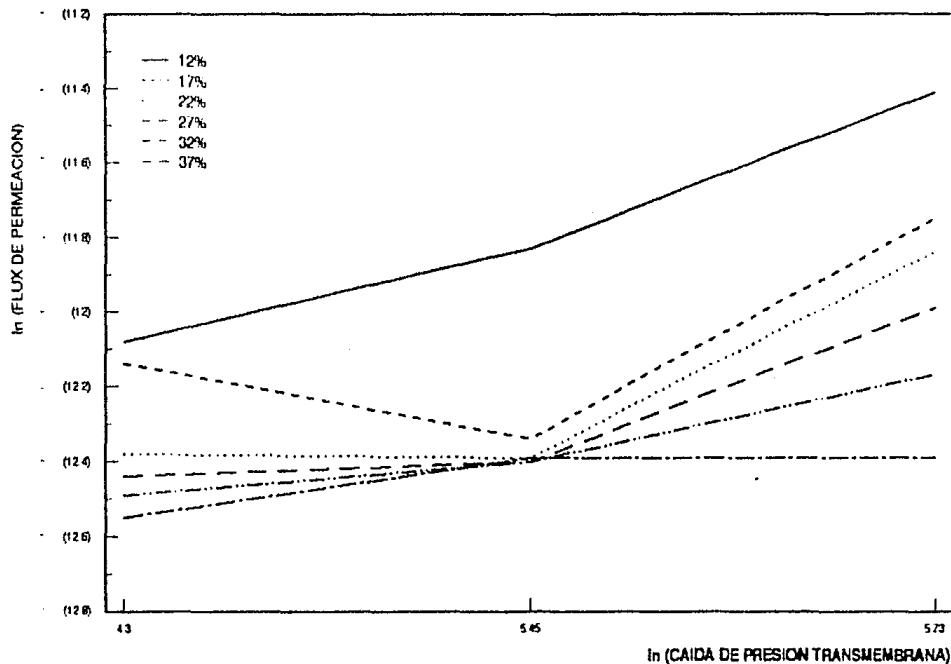
$$P_t = p_1 + p_2 / 2 \quad [9]$$

Donde:

p_1 y p_2 = Presiones manométricas de entrada y salida.

El incremento en la presión generalmente aumenta la polarización de la membrana, esto se observa cuando se concentra leche del 12 al 37% de sólidos totales encontrándose que a 74 KN/m² el flujo de permeación decrece un 37.85%; a 233 KN/m², un 43.32% y a 309 KN/m² un 58.64% (Gráfica 6). A pesar de que existe un aumento en la polarización con el aumento en la presión, se encontró un incremento del flujo de permeación hasta cierta concentración de solutos (27%), ya que cuando se forma la capa limitante, el flujo de la mayor presión empieza a decrecer a mayor velocidad que el de las otras presiones, ocasionando una menor diferencia entre los flujos obtenidos a 37% de sólidos totales a diferentes presiones (Cuadro 15). Esto se observa ya que a 12% de sólidos totales el flujo de permeación a una presión de 309 KN/m² es 50% mayor que a 74 KN/m² y 34% que a 233 KN/m², pero a medida que se incrementa la concentración y por lo tanto se forme la capa gel, el flujo a esta presión decrece con respecto a las otras, pues tenemos que a ésta el flujo es 36% mayor que 74 KN/m² y 33% a 233 KN/m² cuando alcanza una concentración de 27% de sólidos totales. Al final del proceso de concentración (37% sólidos totales), el flujo a presión de 309 KN/m² es 10% mayor que a 233 KN/m² y 23% que a 74 KN/m². Al aplicar una prueba de Tukey se encontró diferencia significativa

GRAFICA 6 FLUJO DE PERMEACION EN FUNCION DE LA CAIDA DE PRESION TRANSMEMBRANA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SOLIDOS TOTALES, 40 °C



CUADRO 15: Influencia de la concentración sobre el flujo de permeación a 40°C.

Sólidos totales		Flujo de permeación		P _v	
(%)	(ln)	(m ³ /s m ²)	(ln)	(KM/M ²)	(ln)
12	2.48	5.68 x 10 ⁻⁶	-12.08	74	4.30
		7.27 x 10 ⁻⁶	-11.83	233	5.45
		1.11 x 10 ⁻⁵	-11.41	309	5.73
17	2.83	5.34 x 10 ⁻⁶	-12.14	74	4.30
		4.36 x 10 ⁻⁶	-12.31	233	5.45
		7.89 x 10 ⁻⁶	-11.75	309	5.73
22	3.10	4.21 x 10 ⁻⁶	-12.30	74	4.30
		4.16 x 10 ⁻⁶	-12.38	233	5.45
		7.19 x 10 ⁻⁶	-11.84	309	5.73
27	3.30	3.96 x 10 ⁻⁶	-12.44	74	4.30
		4.15 x 10 ⁻⁶	-12.39	233	5.45
		8.23 x 10 ⁻⁶	-11.80	309	5.73
32	3.48	3.76 x 10 ⁻⁶	-12.48	74	4.30
		4.15 x 10 ⁻⁶	-12.39	233	5.45
		5.18 x 10 ⁻⁶	-12.17	309	5.73
37	3.61	3.53 x 10 ⁻⁶	-12.55	74	4.30
		4.12 x 10 ⁻⁶	-12.40	233	5.45
		4.59 x 10 ⁻⁶	-12.29	309	5.73

entre los flujos obtenidos a las diferentes presiones a 12 y 27% de sólidos totales, pero a 37% ya no se manifiesta ninguna diferencia. La relación entre la caída de presión transmembrana y el flujo de permeación se describe con la siguiente fórmula empírica encontrada:

$$\ln P_c = m \ln J + b \quad [10]$$

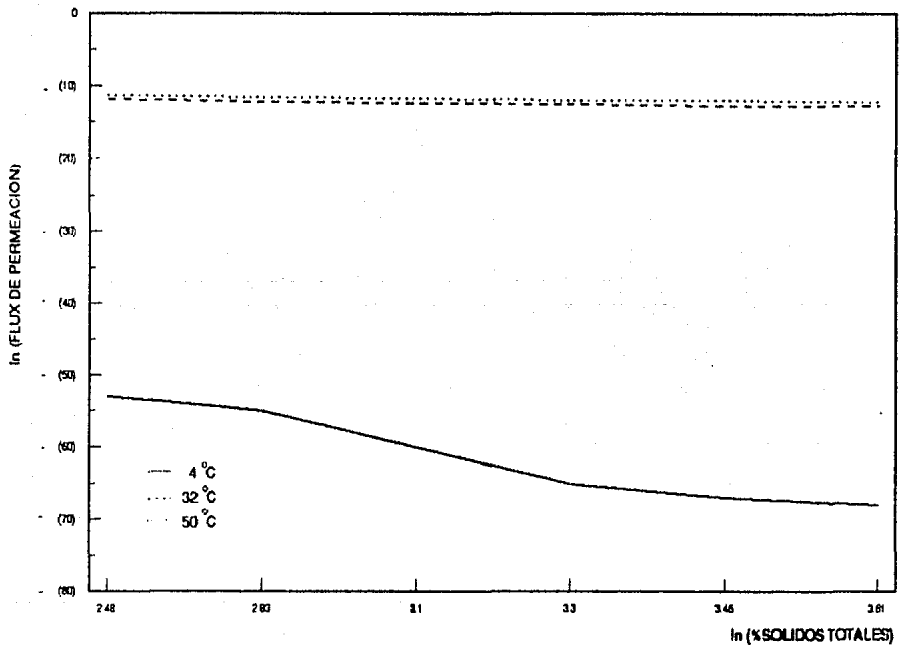
El incremento de la presión aumenta la polarización de la membrana, sin embargo, a partir de los resultados anteriores encontramos que la presión de 309 KN/m² fué la adecuada, ya que disminuye el tiempo de proceso. A 74 KN/m² el proceso duró 100 minutos para llegar a una concentración de 37% de sólidos totales, a 233 KN/m² tardó 90 minutos y a 309 KN/m², 70 minutos. Al relizar un análisis de varianza y aplicar la prueba de Tukey se encontró diferencia significativa entre los tiempos del proceso.

La temperatura es otro de los factores que influyen en el flujo de permeación, éste aumenta con el aumento en la temperatura y su comportamiento se rige por la ecuación de Arrhenius (Gráfica 7). Aplicando logaritmos se obtiene la siguiente expresión:

$$\ln J = \ln J_0 - E_a/RT \quad (11)$$

Esta relación corresponde a la ecuación de una línea recta donde la ordenada al origen es logaritmo natural de J_0 y la

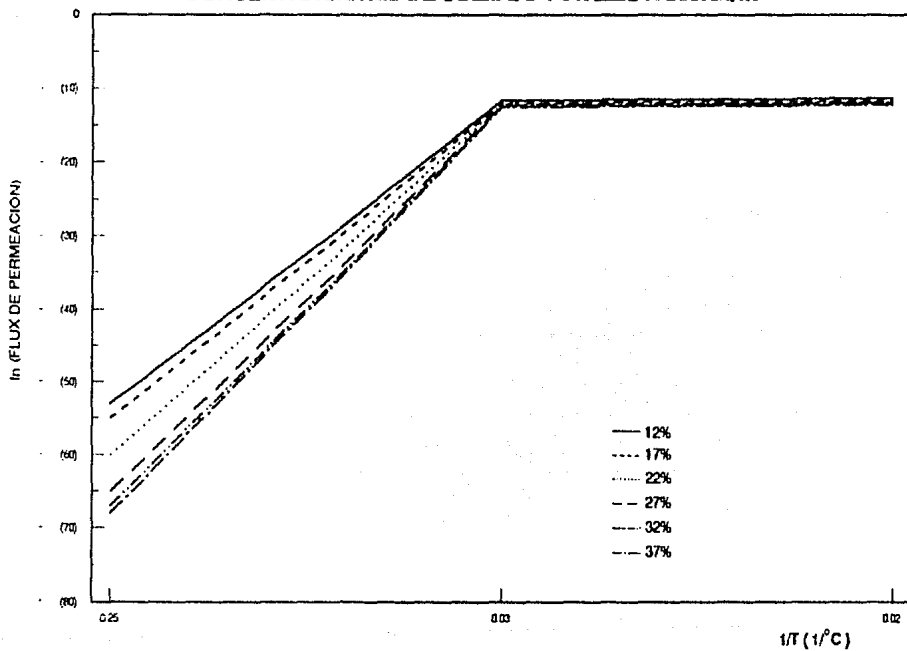
GRAFICA 7 FLUJOS DE PERMEACION EN FUNCION DE LA CONCENTRACION A DIFERENTES TEMPERATURAS Y PRESION DE 309KN/m²



pendiente es E_a/RT . Si se determina el flujo de permeación a distintas temperaturas manteniendo constante la caída de presión (309 KN/m^2) se pueden obtener con datos experimentales E_a/R (Cuadro 16).

En la gráfica 8 se muestra el comportamiento del flujo de permeación en función del inverso de la temperatura a diferentes concentraciones de sólidos totales. Los valores obtenidos de energía de activación se muestran en el cuadro 17, en donde se observa una diferencia entre dichas energías. Sin embargo, era de esperarse que fueran constantes. Es necesario considerar que la ecuación de Arrhenius está propuesta para soluciones ideales, es decir, sistemas formados de moléculas puntuales, esféricas y en solución diluida; en este caso el sistema es muy complejo, ya que esta formado por proteínas, grasas y carbohidratos, cuya forma y tamaño no son uniformes y se encuentran además en forma de emulsión, solución y dispersión. Al cambiar la concentración, cambia la interacción entre las moléculas. Al incrementarse la temperatura existe una mayor movilidad de éstas y por lo tanto la solubilidad y el flujo de permeación se incrementan. Tenemos que a 12% de sólidos totales el flujo de incrementó 99% de 4 a 50°C . y un 15 % de 32 a 50°C . Además, el tiempo de proceso a presión de 309 KN/m^2 , se reduce a medida que aumenta la temperatura. Tenemos que a 4°C el tiempo en alcanzar una concentración de 37% de sólidos totales es de 130 minutos, a 32°C , 70 minutos y a 50°C , 50 minutos. Al realizar un análisis de varianza y prueba de Tukey se encontró diferencia significativa entre los tiempos del proceso. Por lo anterior, la temperatura que se eligió fué de

GRAFICA 8 FLUJO DE PERMEACION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SOLIDOS TOTALES A 309KN/m²



CUADRO 16: Influencia de la Temperatura sobre el flujo de permeación a 309 KN/m².

Sólidos totales (%) (ln)		Flujo de permeación (m ³ /s m ²) (ln)		Temperatura (°C) (1/°C)	
12	2.40	9.60 x 10 ⁻²⁶	-53.00	4	0.25
		1.02 x 10 ⁻²⁶	-11.49	32	0.03
		1.23 x 10 ⁻²⁶	-11.30	50	0.02
17	2.83	1.29 x 10 ⁻²⁶	-55.00	4	0.25
		6.94 x 10 ⁻²⁶	-11.66	32	0.03
		9.09 x 10 ⁻²⁶	-11.61	50	0.02
22	3.10	8.75 x 10 ⁻²⁷	-60.00	4	0.25
		6.49 x 10 ⁻²⁶	-11.94	32	0.03
		8.01 x 10 ⁻²⁶	-11.72	50	0.02
27	3.30	5.90 x 10 ⁻²⁶	-65.00	4	0.25
		5.25 x 10 ⁻²⁶	-12.16	32	0.03
		6.44 x 10 ⁻²⁶	-11.94	50	0.02
32	3.48	7.98 x 10 ⁻²⁶	-67.00	4	0.25
		4.16 x 10 ⁻²⁶	-12.39	32	0.03
		6.46 x 10 ⁻²⁶	-11.95	50	0.02
37	3.61	2.93 x 10 ⁻²⁶	-68.00	4	0.25
		4.16 x 10 ⁻²⁶	-12.40	32	0.03
		5.16 x 10 ⁻²⁶	-12.17	50	0.02

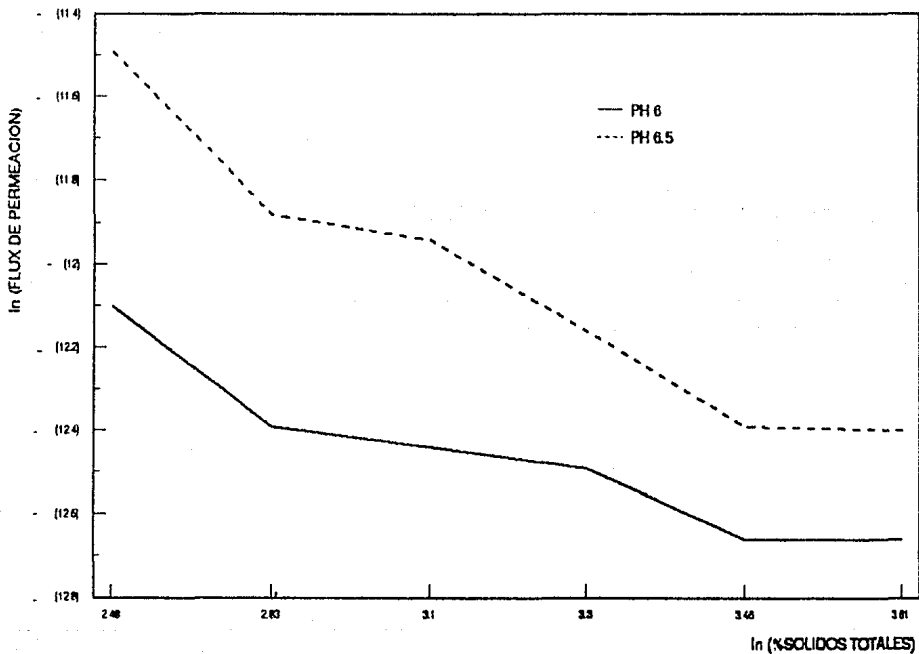
50°C.

CUADRO 17: Energías de activación a diferentes concentraciones de sólidos totales.

Sólidos totales (%)	Energía de activación (J/g mol x 10 ³)
12	1.60
17	1.70
22	1.69
27	2.15
32	2.25
37	2.15

La influencia del pH sobre el flujo de permeación se muestra en la gráfica 9, se puede observar un aumento considerable del flujo de permeación cuando se lleva a cabo el proceso a 6.5 (pH natural de la leche) que cuando se lleva a cabo a un pH de 6.0. Esto se realizó simulando un proceso normal de concentración de la leche y un proceso con fermentación simultánea. Al variar el pH, la carga eléctrica de los grupos polares de la moléculas de proteína se modifican. En consecuencia varía su estructura cuaternaria y la forma y el tamaño de los agregados de proteínas, y al modificarse éstos cambia la difusividad y con ello aumenta o disminuye el flujo de permeación. Se encontró que el flujo de permeación a 309 KN/m² y 32°C (temperatura de incubación de los cultivos) se incrementa 45% de pH 6.0 a pH 6.5 a 12% de sólidos totales, un 28% a 27% de sólidos totales y 23% a 37% de sólidos totales. Al realizar un análisis de varianza se encontró diferencia significativa entre los flujos obtenidos a pH de 6.0 y 6.5. Se encontró además que el comportamiento del flujo con respecto a la concentración de sólidos totales a diferentes pH es logarítmico (Cuadro 18).

GRAFICA 9 FLUJOS DE PERMEACION EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DE SOLIDOS TOTALES A DIFERENTES PH.233KN/m Y 32 °C



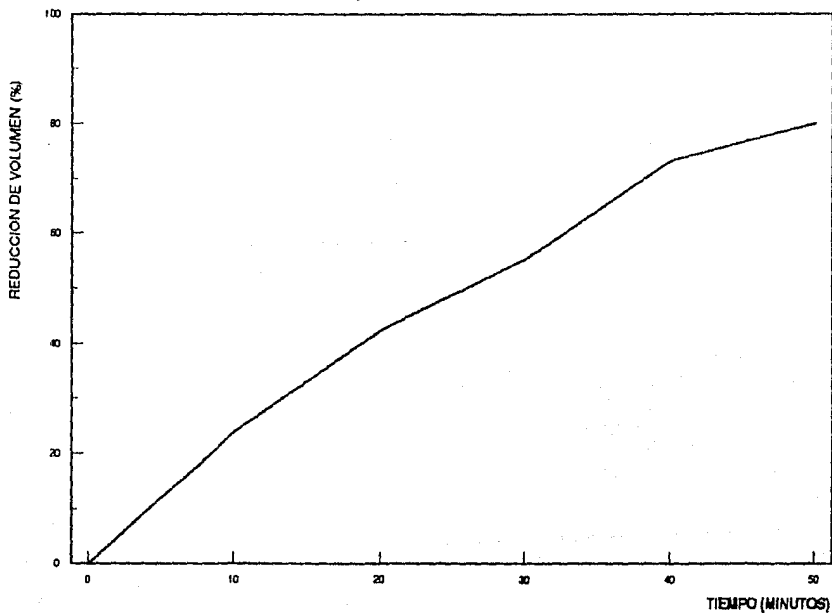
CUADRO 18: Influencia del pH sobre el flujo de permeación a 309 KN/m² y 329 C.

Sólidos totales (%)	Sólidos totales (ln)	Flujo de permeación (m ³ /s m ²)	pH	pH
12	2.48	1.02×10^{-8}	-11.85	5.5
		5.55×10^{-8}	-12.10	6.0
17	2.83	6.94×10^{-8}	-11.88	5.5
		4.15×10^{-8}	-12.39	6.0
22	3.10	6.48×10^{-8}	-11.94	5.5
		3.86×10^{-8}	-12.44	6.0
27	3.30	5.25×10^{-8}	-12.16	5.5
		3.76×10^{-8}	-12.49	6.0
32	3.48	4.16×10^{-8}	-12.39	5.5
		3.16×10^{-8}	-12.66	6.0
37	3.61	4.14×10^{-8}	-12.40	5.5
		3.18×10^{-8}	-12.66	6.0

Al conocer cómo varió el flujo de permeación en función de la concentración de sólidos totales, la caída de presión transmembrana, la temperatura y el pH, se eligieron las condiciones de operación más adecuadas por el tiempo de proceso (Cuadro 19).

En la gráfica 10 se muestra el comportamiento del porcentaje de reducción de volumen de leche en función del tiempo del proceso a las condiciones de operación elegidas. Se puede observar que existe una relación lineal entre ambos en el intervalo estudiado, es decir, hasta alcanzar el 37% de sólidos totales, que corresponden a un 80% de reducción de volumen en 50 minutos del proceso.

**GRAFICA 10 REDUCCION DE VOLUMEN EN FUNCION DEL TIEMPO
A 309 KN/m² , 50 °C Y PH DE 6.5**



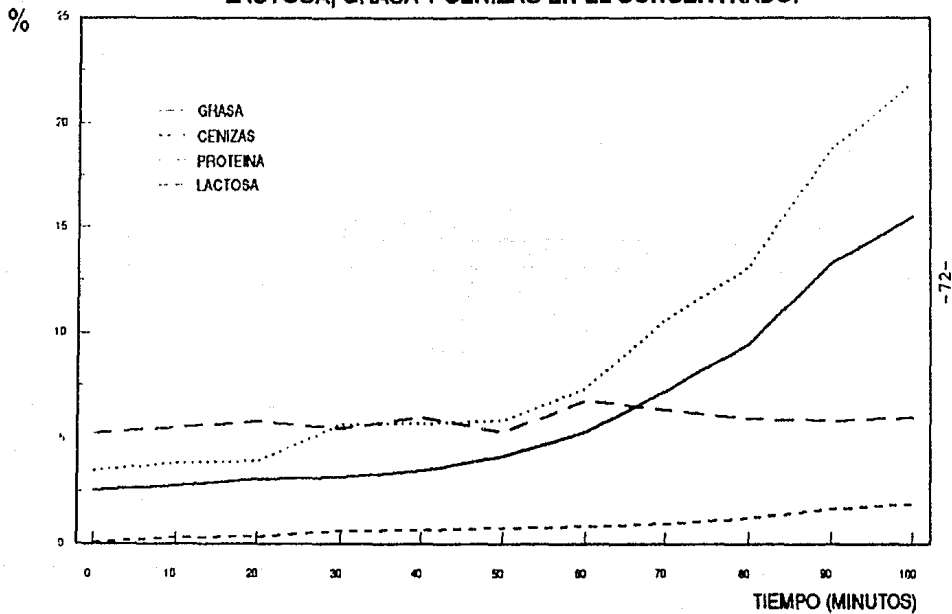
CUADRO 19: Condiciones de Operación.

P ₀	309 AN/m ²
Temperatura	500 C.
pH	6.5
% sólidos totales	37
duración del proceso	50 minutos

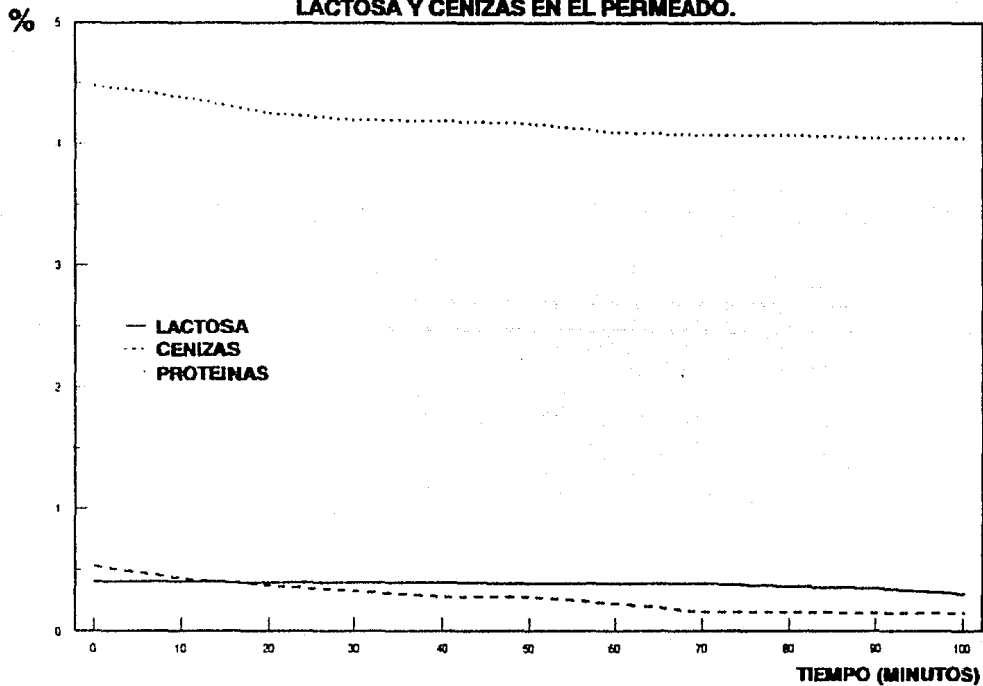
Los perfiles de concentración de cada componente fueron determinados tanto para el concentrado como para el permeado (Gráficas 11 y 12). El contenido proteico aumentó de 3.5 a 21.92% en el concentrado y se observó un decremento de 0.41 a 0.31% en el porcentaje de proteínas del permeado. El porcentaje de retención de proteínas fué del 98%, el 2% restante atravesó la membrana quedando contenidos en el suero péptidos de peso molecular menor al límite de exclusión molecular de la membrana usada. El porcentaje de grasa se incrementó de 2.6 a 15.5%. La retención de grasa fué del 100%, ya que ésta está presente en forma de glóbulos formando una emulsión rodeada de una película de proteínas que le dan estabilidad, por lo que la grasa es retenida al igual que las proteínas. La lactosa incrementó su concentración de 5.25 a 6.79% en el concentrado y disminuyó en el permeado de 4.48 a 4.05%. Las cenizas aumentaron en el concentrado de 0.08% a 1.93% y en el permeado disminuyeron de 0.53 a 0.15%. El contenido de cenizas se incrementó en el concentrado a pesar del bajo peso molecular de estas sales dada su íntima relación con la caseína.

Se observa un aumento en la concentración de sólidos solubles (grados Brix) de 10 a 33% en el concentrado y un comportamiento casi constante en el permeado. En lo referente a

**GRAFICA 11 PERFIL DE CONCENTRACION DE PROTEINAS,
LACTOSA, GRASA Y CENIZAS EN EL CONCENTRADO.**



**GRAFICA 12 PERFIL DE CONCENTRACION DE PROTEINA,
LACTOSA Y CENIZAS EN EL PERMEADO.**



los sólidos totales, el concentrado presenta un incremento de 11 a 45.3%, mientras que el permeado disminuye de 5.42 a 4.51%. Esto se refleja en los índices de refracción, los cuales se incrementan de 1.3480 a 1.3785 en el concentrado. Para el permeado estos valores se modifican de 1.3440 a 1.3400 (Gráficas 13 y 14).

Elaboración de queso tipo "chihuahua" por ultrafiltración

Se realizó un análisis químico proximal de la leche, obteniéndose la composición mostrada en el cuadro 20.

CUADRO 20: Composición de la leche de vaca.

Proteína	3.6%
Grasa	3.7%
Cenizas	0.8%
Lactosa	5.35%
H ₂ O	86.85%

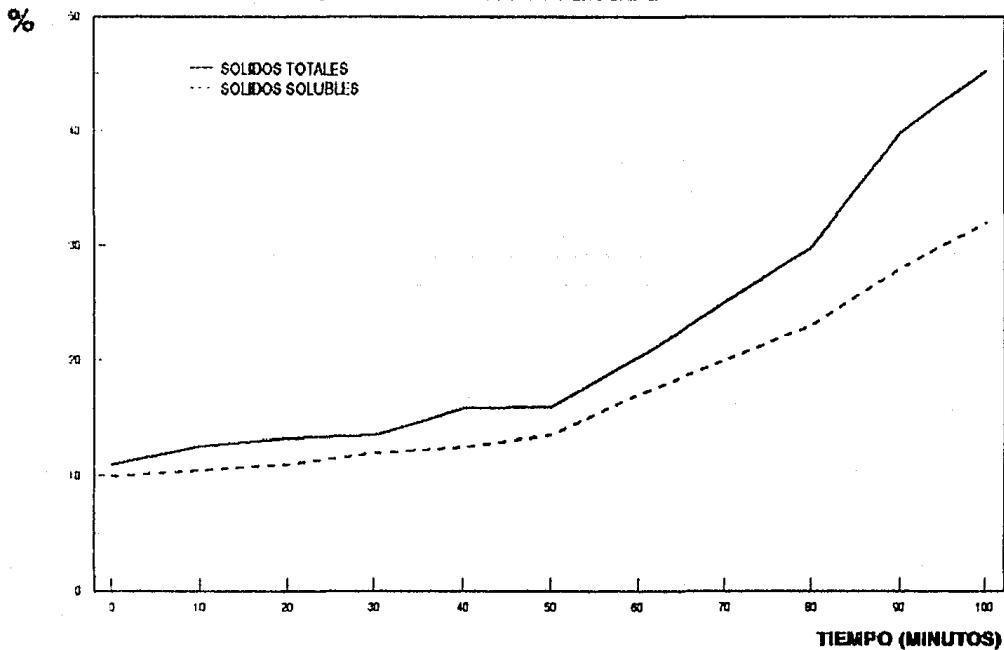
Se determinó el tipo y cantidad de cultivo a utilizar a partir de los tiempos de maduración y coagulación obtenidos (Cuadros 21 y 22).

CUADRO 21: Tiempos de maduración del concentrado a diferentes porcentajes y tipos de cultivo láctico.

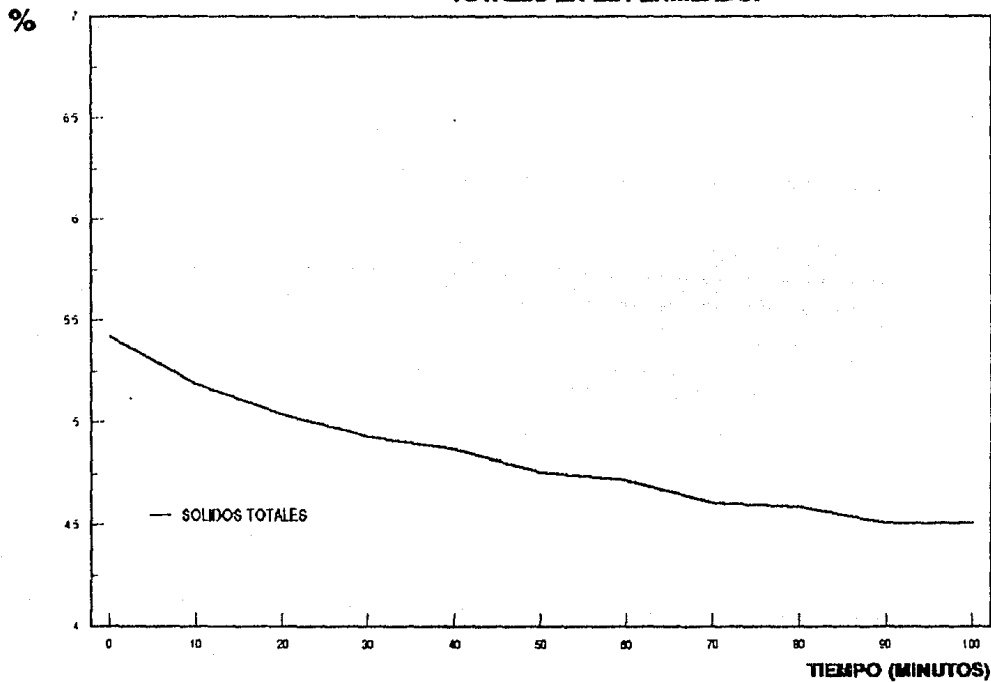
Cultivo (%)	Cultivo Q. (horas)	Cultivo Y. (horas)	Cultivo M. (horas)
1	2.50	2.50	2.25
6	2.00	2.25	1.50
8	1.50	1.50	1.00
12	1.50	1.25	0.75

Q=queso, Y=Yoghurt, M=Mezcla.

**GRAFICA 13 PERFIL DE CONCENTRACION DE SOLIDOS
TOTALES Y SOLUBLES EN EL CONCENTRADO**



**GRAFICA 14 PERFIL DE CONCENTRACION DE SOLIDOS
TOTALES EN EL PERMEADO.**



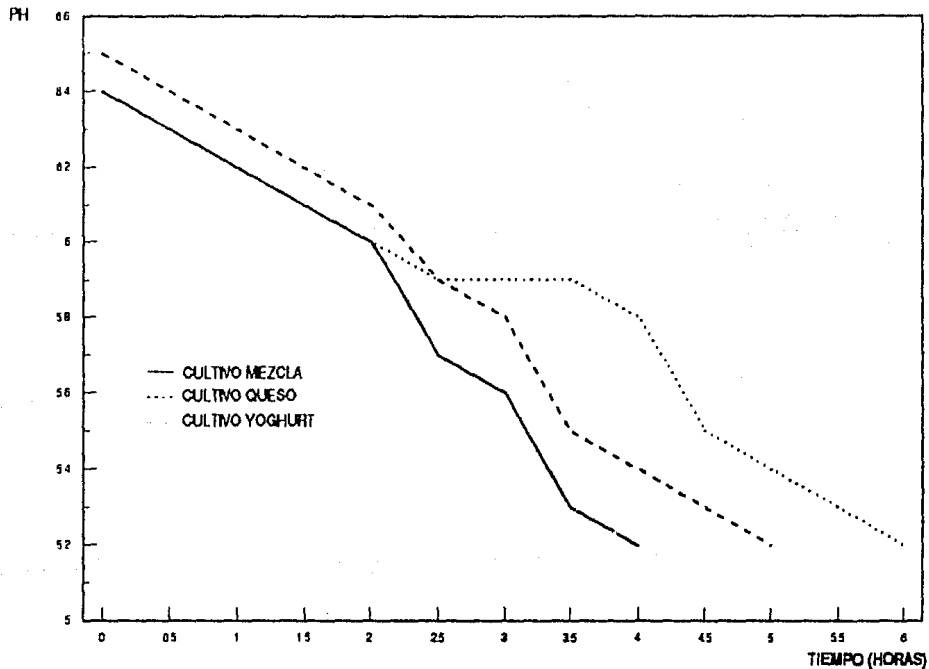
CUADRO 22: Tiempos de coagulación del concentrado a diferentes porcentajes y tipos de cultivo láctico.

Cultivo (%)	Cultivo Q. (horas)	Cultivo Y. (horas)	Cultivo M. (horas)
3	5.00	4.00	4.00
6	4.00	5.50	3.25
9	3.50	5.00	3.00
12	1.50	4.00	2.75

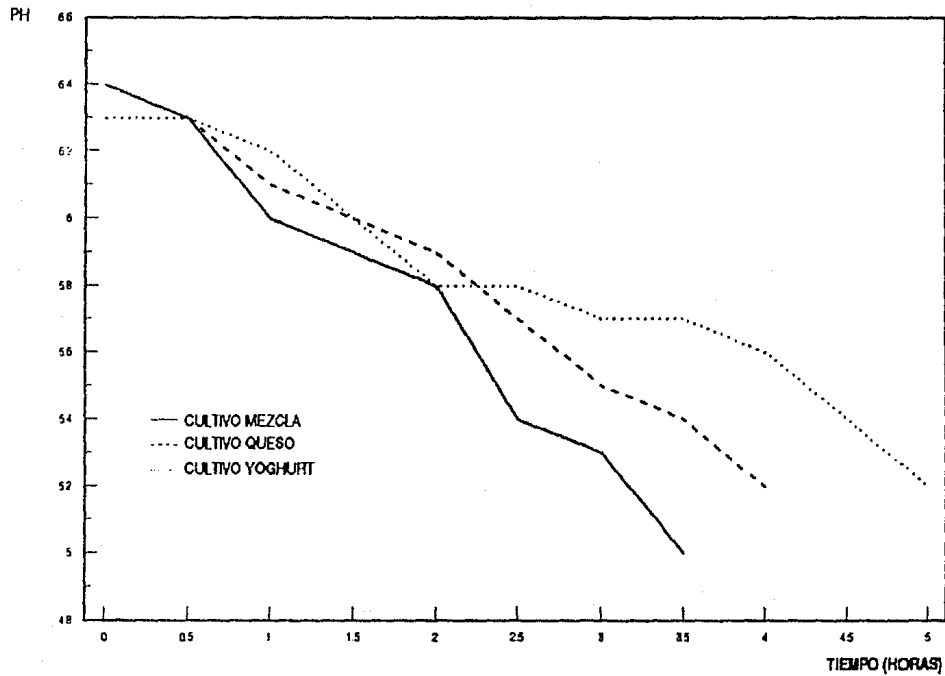
Q=queso, Y=yoghurt, M=mezcla

Las cinéticas de coagulación y maduración muestran que el cultivo de mezcla presentó tiempos menores para llegar al pH de 5.9 y 5.2 con respecto a los otros cultivos en todos los porcentajes usados. El cultivo para el yoghurt presentó los tiempos más grandes. Esto se debe a que la temperatura de incubación utilizada (32°C.) no es la adecuada para este tipo de cultivos. (Streptococcus thermophyllus y Lactobacillus bulgaricus), la cual es de 41°C. El cultivo para quesos presentó tiempos menores que los del cultivo de yoghurt en todas las cantidades empleadas (Gráficas 15, 16, 17, y 18). Al realizar un análisis factorial se encontraron diferencias significativas en los tiempos obtenidos a diferentes tipos y porcentajes de cultivos, por lo que se aplicó una prueba de Tukey y se encontró diferencia significativa en todas las medias de los tiempos de coagulación y maduración a diferentes tiempos de cultivos; sin embargo, para el tipo de cultivo se encontró que no hay una diferencia significativa entre el cultivo de yoghurt y el de queso, sólo presentándose ésta para las medias de mezcla con yoghurt y mezcla con queso. Por lo tanto se eligió el cultivo de mezcla en un porcentaje del 6%, ya que al no existir diferencia

**GRAFICA 15 CINETICA DE MADURACION Y COAGULACION DEL CONCENTRADO
PROTEICO A 3% DE CULTIVO INICIADOR Y 32° C**



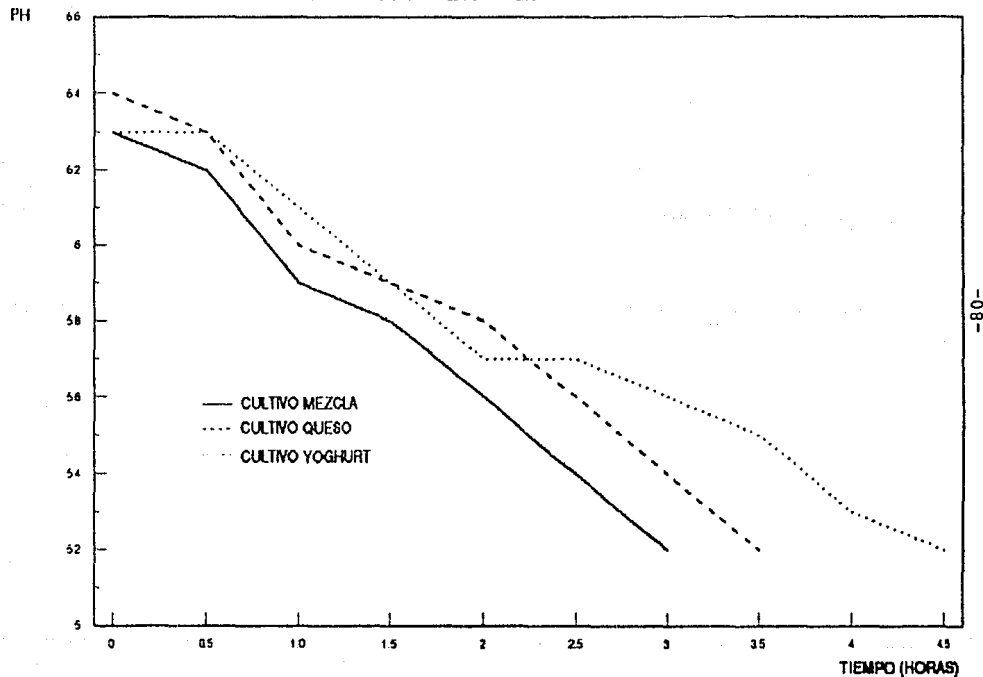
GRAFICA 16 CINETICA DE MADURACION Y COAGULACION DEL CONCENTRADO PROTEICO A 6 % DE CULTIVO INICIADOR Y 32° C



-79-

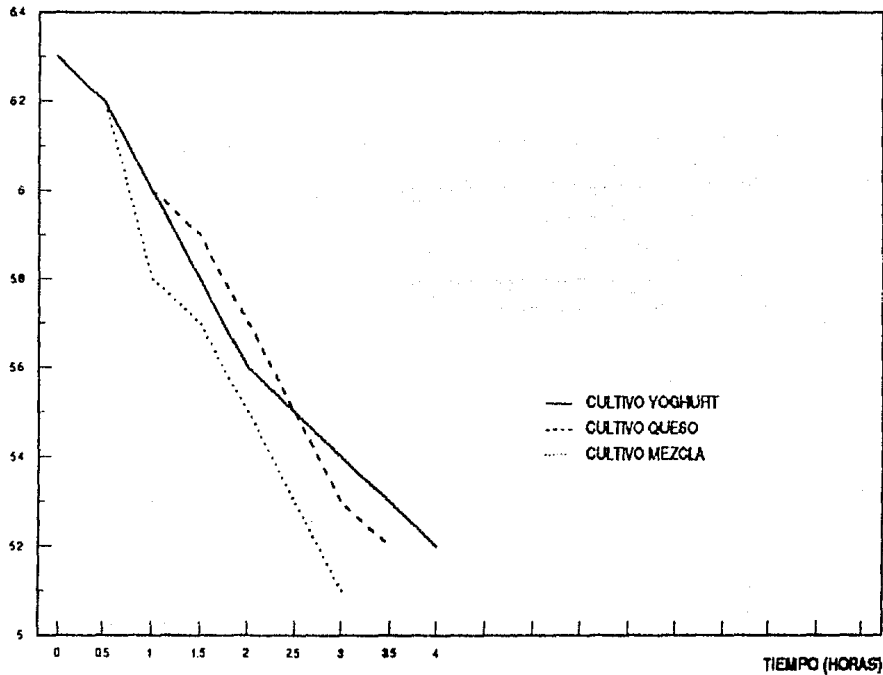
ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

GRAFICA 17 CINETICA DE MADURACION Y COAGULACION DE CONCENTRADO PROTEICO A 9 % DE CULTIVO INICIADOR Y 32° C



**GRAFICA 18 CINETICA DE MADURACION Y COAGULACION DE CONCENTRADO
PROTEICO A 12 % DE CULTIVO INICIADOR Y 32 ' C**

PH



significativa entre las cantidades de cultivo, se eligió entre el que presentó un tiempo corto de coagulación y maduración pero que no provocara un exceso de acidez, ya que puede ocasionar un sabor amargo en el queso.

La cantidad de cuajo fué determinada al variar los porcentajes de la enzima y determinar los tiempos de coagulación. Para un 100% de cuajo (1 ml /10 l de concentrado) el tiempo de coagulación fué de 9.15 minutos, para un 50% fué de 25 minutos, 40 minutos para un 40%, 50 para 30% y 65 minutos para un 20%. De los resultados obtenidos se observa que al 100% de cuajo el concentrado tarda en coagular aproximadamente 10 minutos, tiempo recomendado para la coagulación de una leche normal (11) Por tanto, la cantidad de cuajo empleada fué de 1 ml por 10 litros de concentrado.

Finalmente, la cantidad de calcio fué determinada adicionando 0.03% de calcio a 250 ml. de concentrado y determinando el tiempo de coagulación después de la adición del cuajo. También se realizó otra determinación cuando no hubo adición de calcio al concentrado. Para el primer caso se obtuvo un tiempo de coagulación de 9.75 minutos y 9.90 minutos para el segundo., Al aplicar un análisis de varianza no se encontró diferencia significativa en los tiempos de coagulación a las diferentes concentraciones de calcio.

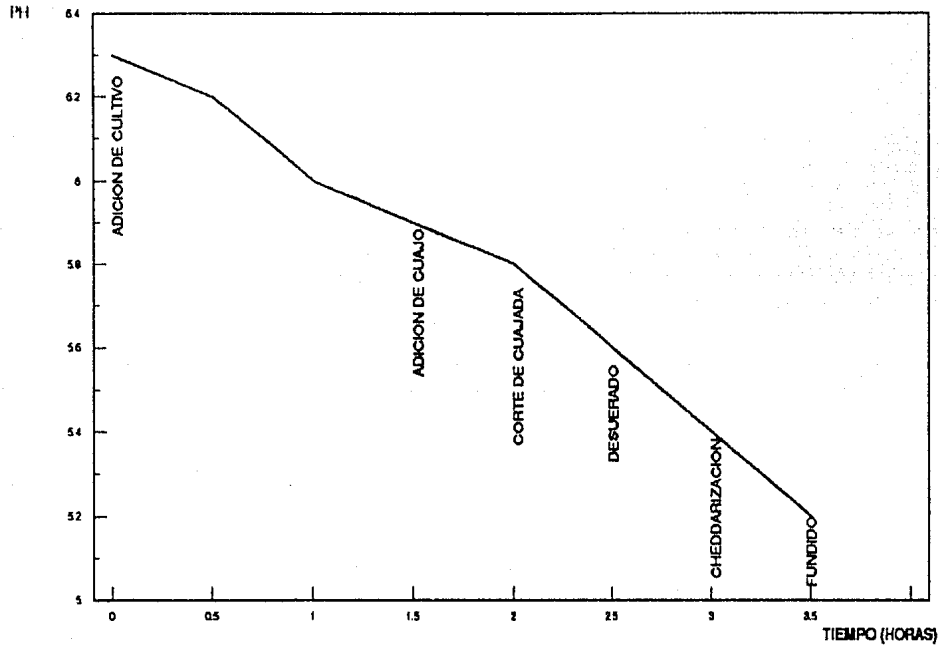
Una vez establecidas las variables anteriores, se elaboró queso tipo "chihuahua" utilizando la metodología señalada en el Cuadro 8. La cinética de elaboración de queso se observa en la Gráfica 19.

Estudio de maduración de queso tipo "Chihuahua" por método tradicional y por ultrafiltración.

Los quesos obtenidos por ambos métodos fueron sometidos a un proceso de maduración durante un mes a una temperatura de 10°C y 90% de humedad relativa. Durante este período los quesos experimentan diversas modificaciones que contribuyen a la formación del aroma, sabor y textura. Estas dependen del tipo de queso y de su proceso de elaboración (47, 55). Los cambios que se consideraron más importantes para el estudio fueron la pérdida de peso, proteólisis, lipólisis y cambios en el pH.

La pérdida de humedad que se traduce en pérdida de peso es muy limitada si las condiciones de maduración son controladas adecuadamente. Sin embargo, el queso Chihuahua antes de ser encerado se coloca en unas cámaras a temperatura ambiente para que el producto forme corteza y elimine un poco de agua, ya que después del encerado la humedad del queso permanece constante. Durante este lapso el queso elaborado por método tradicional

**GRAFICA 19 CINETICA DE ELABORACION DE QUESO
POR ULTRAFILTRACION**



presentó una humedad inicial de 52% y al término de la semana un 44%, con una pérdida de peso de 8.9%. mientras que el elaborado por ultrafiltración perdió un 4.6% y sus humedades inicial y final fueron 26 y 34% respectivamente (Cuadro 23 y Gráfica 20).

CUADRO 23: Pérdida de peso de los quesos durante el proceso de maduración.

Tiempo (días)	Q. T. (%)	Q. U. F. (%)
1	3.0	1.1
2	5.1	2.4
3	7.1	3.3
4	8.0	4.2
5	8.1	4.5
6	8.4	4.6
7	8.9	4.8

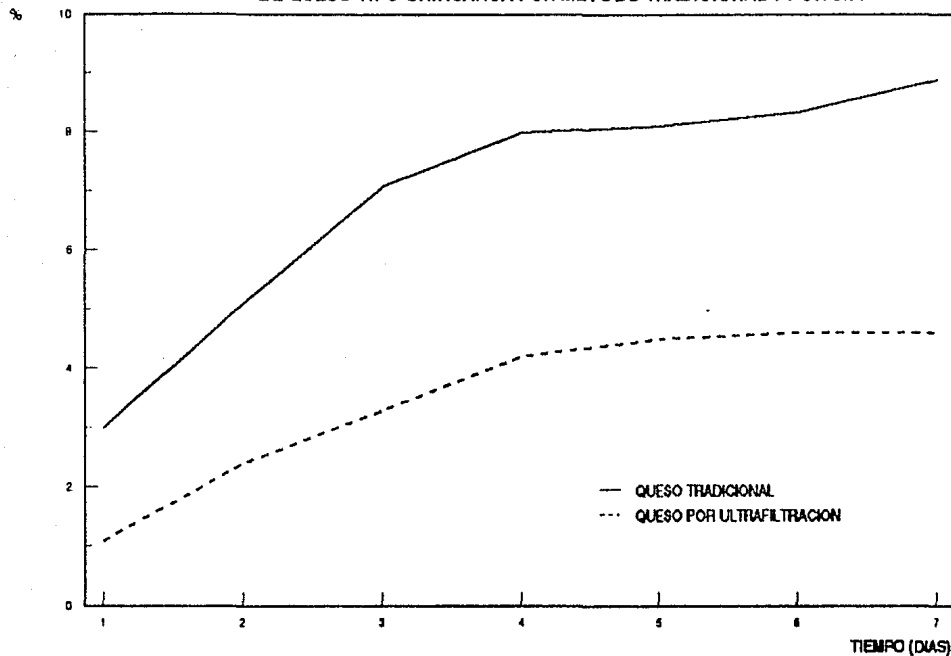
Q.T.=Queso Tradicional Q.U.F.=Queso por Ultrafiltración

Se realizó un análisis de bloques aleatorios y se obtuvo que existe diferencia significativa en el efecto que causa el método de elaboración de queso sobre la pérdida de peso durante 7 días.

El queso elaborado por ultrafiltración presentó una menor pérdida de agua debido a que durante la concentración de la leche se eliminó la mayor parte de aquella y durante el desuerado se perdió otra porción, quedando el queso con la humedad indicada por la norma de calidad (46).

Por otra parte, al final del desuerado la pasta tiene siempre una reacción ácida. Las pastas semiduras y cocidas tienen un pH comprendido entre 5 y 5.4. Conservan aún calcio y fosfatos y por lo general no sufren cambios de pH durante la maduración,

GRAFICA 20 PERDIDA DE PESO DURANTE EL PROCESO DE MADURACION DE QUESO TIPO CHIHUAHUA POR METODO TRADICIONAL Y POR U.F.



como los quesos de pasta blanda, que tienden a la neutralidad. El queso obtenido por el método tradicional presentó un pH inicial de 4.9 y 5.1 al final del proceso de maduración, mientras que el queso por método de ultrafiltración presentó pH de 5.2 y 5.4 al inicio y al final respectivamente (Cuadro 24).

CUADRO 24: Cambios de pH durante la maduración de queso.

Tiempo (semanas)	Q. T.	Q. U. F.
0	4.9	5.2
1	5.0	5.3
2	5.0	5.4
3	5.1	5.4
4	5.1	5.4

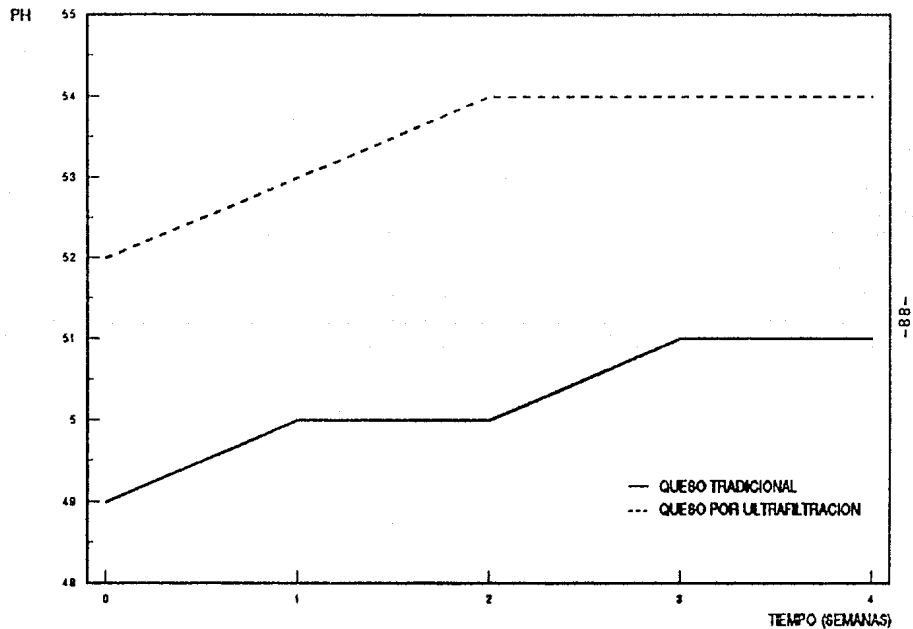
Q.T.:Queso por método tradicional

Q.U.F.:Queso por ultrafiltración

Se aplicó un análisis de bloques aleatorios y no se obtuvo diferencia significativa por el efecto de los métodos sobre el pH de los quesos. A pesar de esto podemos observar que el queso elaborado por ultrafiltración presentó un pH ligeramente mayor que el elaborado por método tradicional, debido a que el concentrado presenta un efecto buffer. Además de que contenía una menor cantidad de cultivos lácticos, que son los productores de acidez. En ambos métodos el pH permaneció casi constante durante un mes de maduración (Gráfica 21).

Otro de los cambios más importantes durante este proceso es el de la proteólisis, pues afecta a la textura y al sabor

GRAFICA 21 CAMBIOS EN PH DURANTE EL PROCESO DE MADURACION DE QUESO TIPO CHIHUAHUA POR METODO TRADICIONAL Y POR U.F.



simultáneamente. Después de la primera semana, el queso tradicional presentó una relación de maduración ($M=N_s/N_t \times 100$) de 2.17%, valor que se incrementó hasta 13.9% al final del proceso. El queso por ultrafiltración presentó una relación de maduración de 2.8% y 14% al inicio y al final del proceso respectivamente. A lo largo de las 4 semanas, la relación de maduración se incrementó al seguirse elevando el contenido de materia nitrogenada soluble (Cuadro 25 y Gráfica 22).

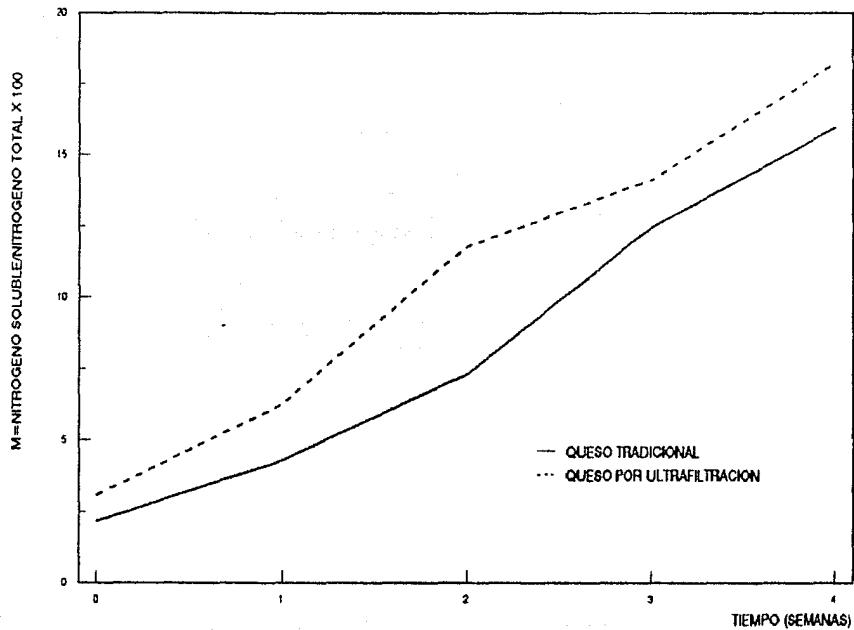
CUADRO 25: Relación de maduración de queso.

Tiempo (semanas)	Q.T. (%)			Q.U.F. (%)		
	N_t	N_s	M	N_t	N_s	M
1	23	0.50	2.17	32	0.80	2.50
2	23	1.20	5.21	32	1.00	3.00
3	23	2.40	10.43	32	2.80	8.80
4	23	3.20	13.90	32	4.40	13.80

N_t =Nitrógeno total N_s =Nitrógeno soluble
M=Relación de Maduración

La solubilización de la caseína produce una masa más blanda y untosa, por lo tanto una mejor textura, además, los aminoácidos y las aminas producto de la degradación de la caseína producen un mejor aroma y sabor al queso, por lo tanto es necesario que durante el proceso de maduración el grado de proteólisis sea el mayor posible. En el queso por ultrafiltración, la relación de maduración final fué similar a la del queso tradicional, pero el primero presentó un mayor porcentaje de nitrógeno total, por lo que la solubilización de la caseína fué menor en éste, ocasionando un menor grado de maduración. Se aplicó un análisis de bloques aleatorios, no encontrándose una diferencia significativa en las relaciones de maduración obtenidas en ambos

**GRAFICA 22 RELACION DE MADURACION DE QUESO TIPO CHIHUAHUA
POR METODO TRADICIONAL Y POR ULTRAFILTRACION.**



quesos.

La hidrólisis de la materia grasa influye directamente en la formación de aroma debido a los ácidos grasos liberados así como a los productos de degradación, las metilcetonas. La lipólisis en los quesos de pasta semidura, como el "Chihuahua" es muy limitada debido a que las lipasas naturales de la leche se encuentran inactivas a pH inferior a 6.5. En los quesos de pasta blanda la lipólisis es mayor debido a que existe un gran número de lipasas provenientes de hongos y algunas bacterias. Al inicio de la maduración el queso por método tradicional presentó 0.21% de ácidos grasos libres y éstos se incrementaron hasta 2.20%, mientras que el queso por ultrafiltración presentó 0.2 y 2.0% al inicio y al final del proceso (Cuadro 26).

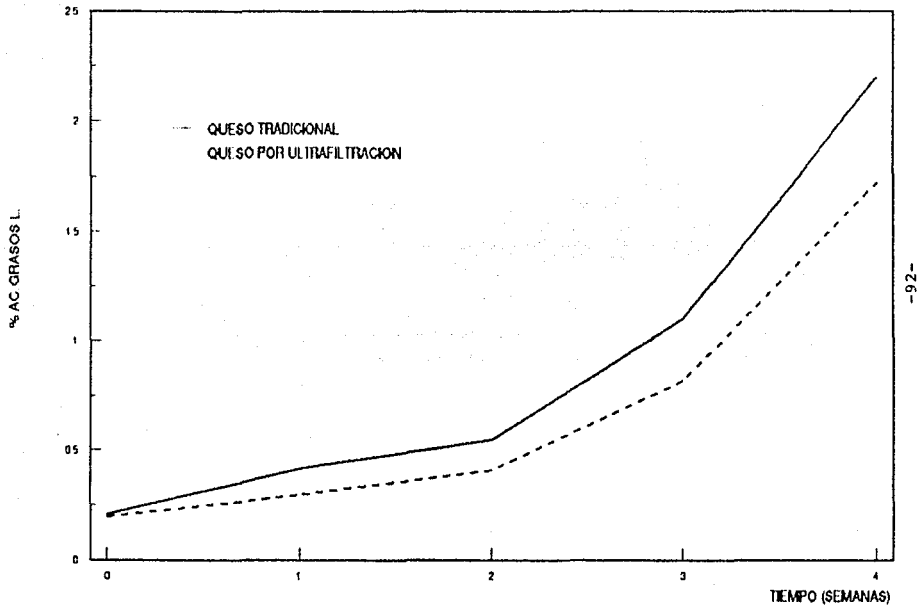
CUADRO 26: Ácidos grasos libres durante la maduración de quesos.

Tiempo (semanas)	Q. T. (%)	Q. U. F. (%)
0	0.21	0.20
1	0.42	0.75
2	0.55	0.50
3	1.10	1.00
4	2.20	2.00

Q.T.-Queso Tradicional. Q.U.F.-Queso por Ultrafiltración.

Como se observa, la lipólisis es muy limitada para ambos productos, además de no presentar diferencia significativa al aplicar análisis de bloques aleatorios (Gráfica 23).

GRAFICA 23 LIPOLISIS EN EL CURSO DE LA MADURACION DE QUESO TIPO CHIHUAHUA POR METODO TRADICIONAL Y POR ULTRAFILTRACION.



**Evaluación de la calidad final de la aceptabilidad
de los productos obtenidos por ambos métodos**

Al término de un mes de maduración, se realizó una evaluación química de los quesos obtenidos por ambos métodos. Se encontró que los productos cumplen con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana de Calidad (46) en todos sus puntos, siendo notorio el alto contenido proteico del queso por ultrafiltración y por tanto un alto contenido en sólidos totales (Cuadro 27).

CUADRO 27: Composición de quesos y especificaciones de la Norma Oficial Mexicana.

Especificación	NOM-F-209	Q. T.	Q. U. F.	Q. C.
% Humedad	45 max.	44.85	24.00	44.00
% Grasa	26 mín	28.00	28.00	25.00
% Proteína	22 mín	23.00	33.00	23.00
% Sólidos totales	55 mín	55.10	66.00	55.00
pH	5-5.5	5.00	5.30	5.10
% Cenizas	6.5 max	4.05	4.00	4.00
% NaCl	3 max	1.00	1.50	2.00

Al término de un mes de maduración, se realizaron los análisis microbiológicos señalados por la Norma Oficial Mexicana (46). Los valores de las cuentas microbiológicas señalan el cumplimiento de los quesos en todas las especificaciones de la norma y dados estos resultados se obtienen productos con buena calidad sanitaria. Comparando los dos quesos tenemos que el fabricado por ultrafiltración presenta una menor carga microbiana debido a que algunos microorganismos son retenidos por la

membrana al ser concentrada la leche (Cuadro 28).

CUADRO 28: Contenido microbiológico comparativo de quesos tipo "chihuahua" con respecto a la Norma Oficial Mexicana.

Microbiológicos	NOM-F-209-1985 (col/g)	Q.T. (col/g)	Q.U.F. (col/g)
Coliformes	10 000	100	87
<i>Staphilococcus aureus</i>	100	10	10
<i>Escherichia coli</i>	1 000	200	100
<i>Salmonella</i> sp. en 25 g	-	-	-

Por otra parte, se realizó una evaluación de aceptabilidad de los productos obtenidos, aplicando primero una prueba triangular con 20 panelistas entrenados para comparar los quesos obtenidos por ambos procesos con un queso comercial y se encontró que no existe diferencia significativa al aplicar una prueba de χ^2 . Para la comparación del queso tradicional se encontró que el 30% de los panelistas detectó la muestra patrón, mientras que el queso por ultrafiltración sólo fue identificado por el 9%.

Posteriormente se aplicó una prueba de preferencia con una escala hendónica de 9 puntos. El queso por ultrafiltración obtuvo 7.6 de calificación, ubicándose entre las cualidades de "gusta moderadamente" y "gusta mucho", mientras que la muestra patrón (queso comercial) presentó una puntuación de 6.9, ubicándose en la cualidad de "gusta moderadamente" y el queso tradicional obtuvo 5.9, ubicándose en la categoría de "gusta ligeramente". Si se toma como referencia el punto medio de la escala (Valor 5), se

podría afirmar que los productos en lo general son aceptables, mostrándose una mayor aceptabilidad del queso por ultrafiltración. Al comparar los valores obtenidos, se encontró diferencia significativa en preferencia entre la muestra comercial y la muestra por ultrafiltración. Sin embargo, entre la muestra tradicional y por ultrafiltración sí existe diferencia significativa en la preferencia (Cuadro 29).

En general, los quesos elaborados por ambos métodos cumplieron con las especificaciones químicas y microbiológicas de la Norma Oficial Mexicana vigente (46). Además tuvieron una buena aceptabilidad entre los panelistas.

CUADRO 29: Valores obtenidos en la prueba de preferencia.

Valor	Escala	Q. P.	Q. T.	Q. U. F.
1	Disgusta extremadamente			
2	Disgusto mucho			
3	Disgusta moderadamente			
4	Disgusta ligeramente			
5	Ni gusta ni disgusta			
6	Gusta ligeramente		5.9	
7	Gusta moderadamente	6.9		
8	Gusta mucho			7.6
9	Gusta extremadamente			

Q.T.=Queso Tradicional Q.U.F.=Queso por Ultrafiltración
 Q.C.=Queso Comercial

IV-CONCLUSIONES

1-Las condiciones de operación más adecuadas para la concentración de leche por ultrafiltración son: temperatura de 50°C, pH de 6.5 y 309 KN/m² de presión. A esta temperatura las proteínas no sufren desnaturalización y se previene del ataque de microorganismos. Con esta presión y pH se obtienen flujos de permeación mayores disminuyendo el tiempo del proceso.

2-En la elaboración de quesos por ultrafiltración se obtuvieron las siguientes ventajas sobre el método tradicional:

En la elaboración convencional de quesos las proteínas solubles se pierden en el desuerado, quedando sólo retenida la caseína. En el método por ultrafiltración estas proteínas son retenidas en la cuajada, provocando un incremento del 30% en la concentración de las proteínas del queso. El queso por método tradicional presentó un 23% de proteínas mientras que el queso por ultrafiltración un 33% de las mismas; esto se traduce en un aumento en el rendimiento quesero, ya que se retienen el 98.75% de las proteínas presentes en la leche y el 100% de las grasas. El suero obtenido por ultrafiltración contiene 0.41% de proteínas y nada de grasa. Por método tradicional se obtuvo un rendimiento quesero de 10.36%, y un 14.76% por ultrafiltración. Para 10 000 litros de leche hay un incremento de 440 kg. de queso por el segundo método. Además, el valor nutricional se aumenta debido a que éstas proteínas son ricas en aminoácidos esenciales.

Por otra parte, en el cuajo empleado se observó una disminución del 77.74% por el método de ultrafiltración. Para 100 litros de leche por método tradicional se utilizaron 10 ml. de cuajo y por el método de ultrafiltración sólo se utilizaron 2,26 ml. debido a la reducción de volumen de leche. En lo que respecta al calcio se encontró un ahorro del 100% pues las sales de este elemento son retenidas durante la concentración de leche, por lo que no se hace necesaria la adición de cloruro de calcio. Finalmente, se encontró que por el método tradicional se utilizaron 3% de cultivos de mezcla mientras que por el de ultrafiltración 1.2%, obteniéndose un ahorro del 60% en el cultivo empleado.

3-Durante el curso de la maduración de los quesos obtenidos por ambos procesos, se encontró que el queso por ultrafiltración presentó un 48% menos de pérdida de peso que el queso tradicional. En lo referente a la relación de maduración tuvieron un comportamiento similar, el queso tradicional 13.9% y el queso por ultrafiltración 14% de grado de maduración. El queso tradicional presentó un pH inicial de 4.9 y un final de 5.1, mientras que el queso por ultrafiltración presentó un pH de 5.2 y 5.4 al inicio y al final del proceso. El cambio en el porcentaje de ácidos grasos libres fué de 0.21% al inicio y 2.20% al final en el queso tradicional y en el queso por ultrafiltración fué de 0.2% y 2.0% al inicio y al final respectivamente.

4-Los productos obtenidos tuvieron una buena aceptación entre los consumidores y al contrastarse contra la Norma Oficial Mexicana se encontró que cumplen adecuadamente con todos sus puntos, presentando el queso por ultrafiltración un mayor contenido proteico.

V-RECOMENDACIONES

1-Es conveniente llevar a cabo un estudio técnico-económico para decidir la factibilidad de aplicación industrial de la tecnología de ultrafiltración en la elaboración de quesos típicos mexicanos.

2-Es recomendable realizar un estudio para la elaboración de subproductos del suero obtenido por ultrafiltración tales como bebidas fermentadas.

3-Se recomienda realizar un estudio sobre el proceso de ultrafiltración con fermentación simultánea en la elaboración de quesos para reducir el tiempo de proceso.

4-Se recomienda asimismo hacer un estudio de maduración determinando los cambios que sufre el queso Chihuahua en el contenido de aminoácidos y tipo de ácidos grasos libres.

VI-BIBLIOGRAFIA

- 1-Alais, C. (1970): Ciencia de la Leche. Ed CECSA, México.
- 2-A. O. A. C. (1984): Official Methods of Analysis of Foods. Association of Official Analytical Chemist. Wash, D. C.
- 3-Brenan, J. G. (1980): Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Ed. Acribia, España.
- 4-Cámara de Productos Alimenticios Elaborados con Leche (1989), México, Comunicación Personal.
- 5-Charm, S. E. (1978): The Fundamentals of Food Engineering. Ed AVI. Boston, Mass.
- 6-Daniel, W. (1985): Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud. Ed. Limusa, Mexico.
- 7-De Phillip. P. R. (1977): Ultrafiltration. en: Chemical Processing and Engineering, Part I, Filtration, Principles and Practice. Orr, C. (ed), Vol 10, Marcel Decker, N.Y.
- 8-Donnelly, J. K. y R. A. Delaney (1974): Performance Characteristics of an Ultrafiltration Plant. Lebens M. Wiss. U. Technol., 7 (3): 162-166.
- 9-Earle, R. J. (1988), Ingeniería de los Alimentos. Ed. Acribia, Méx.
- 10-Fischer, K y J. Hart (1984): Análisis Moderno de los Alimentos. Ed. Acribia, España.
- 11-Gaona, R. H. y F. Keating (1986): Introducción a la Lactología. Ed. Limusa, Méx.
- 12-Hernández, S. H. (1984): Elaboración de Quesos por Ultrafiltración Tecnol. Alim. 18 (4): 28-31.
- 13-Jameson, G.W. (1987): Manufacture of Cheddar Cheese from Milk Concentrates by Ultrafiltration: Development and Evaluation of a Process. F. Technol. in Aust. 39 (12): 560-564.
- 14-Jelen, P. (1979): Phisico-chemical Properties of Milk and Whey in Membrane Processing. J. Dairy Sci. 62 (8): 1343-1351.
- 15-Jelen, P. y J. Patocka (1987): Calcium Chelation and Other Pretreatments for Flux Improvement in Ultrafiltration of Cotage Cheese Whey. J. F. Sci. 52 (5): 1241-1244.

- 16-Judkins, H. (1977): La Leche, su Producción y Procesos Industriales. Ed. CECSA, Méx.
- 17-Kosikowsky, V. F. (1978): Cheese and Fermented Milk Foods . Ed Edward Brothers Inc, Michigan.
- 18-Kosikowsky, V. F. (1986): New Cheese-making Procedures Utilizing Ultrafiltration Food. F. Technol, June: 71-77.
- 19-Kosikowsky, V. F. y H. R. Covacevich (1977): Skim Milk Concentration for Cheese Making by Alternative Ultrafiltration Procedures. J. F. Sci. 42 (5): 1359-1362.
- 20-Kosikowsky, V. F. y H. R. Covacevich (1979): Buffer Lactic Fermentation and Rennet Coagulation Properties of Skim Milk Retentates Produced by Ultrafiltration. J. Dairy Sci. 62: 204-207.
- 21-Kosikowsky, V. F. y C. Mistry (1986): A Naturally Buffered Bulk Retenates Starte from Ultrafiltration Milk. J. Dairy Sci. 69: 945-950.
- 22-Lees, R. (1986): Análisis de los Alimentos. Métodos Analíticos y de Control de Calidad. Ed. Acribia, España.
- 23-Lieberman, G. y A. Bowkwer (1981): Estadística para Ingenieros. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- 24-Manual de Estadísticas Básicas 1960. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 25-Manual de Estadísticas Básicas 1970. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 26-Manual de Estadísticas Básicas 1975. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 27-Manual de Estadísticas Básicas 1980. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 28-Manual de Estadísticas Básicas 1981. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 29-Manual de Estadísticas Básicas 1982. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 30-Manual de Estadísticas Básicas 1983. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 31-Manual de Estadísticas Básicas 1984. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 32-Manual de Estadísticas Básicas 1985. Secretaría de Programación y Presupuesto.

- 33-Manual de Estadísticas Básicas 1986. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 34-Manual de Estadísticas Básicas 1987. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 35-Manual de Estadísticas Básicas 1988. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 36-Manual de Laboratorios de Microbiología Sanitaria. (1983) Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Méx.
- 37-Manual. Introducción a la Tecnología de Alimentos. Teoría y Práctica. (1985). Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Politécnico Nacional, Méx.
- 38-Madrid, A. (1980): Preparación por Ultrafiltración de Concentrados Proteicos a Partir de Suero Lácteo. Ind. Lác. Nov. Dic.: 12-18.
- 39-Mattews, M. E. (1979): Advances in Whey Processing-Ultrafiltration and Reverse Osmosis. N. Zel. J. Dairy Sci. Technol. 14, (2): 86-92.
- 40-Mattews, M. E., C. H. Amundson, y C. Hill. (1976): Cottage Cheese from Ultrafiltered Skim Milk. J. F. Sci. 41: 619-626.
- 41-Maubois, J. L. y G. Mocquat (1975). Aplicación de Membrane Ultrafiltration to Preparation of Various Types of Cheese. J. Dairy Sci. 58, (7): 1001-1007.
- 42-Meyer, M. (1988), Elaboración de Productos Lácteos. Ed. Trillas, Méx.
- 43-Muir, D. D y A. W. Sweetsur (1984): Optimization of the Heat Stability of Protein-Rich Concentrates Prepared by Ultrafiltration of Skim Milk. J. F. Technol. 19 :263-271.
- 44-Naomi, L. (1977) Sensory Panel Test Design with Data Evaluation Procedures. Coca-Cola Company, Houston, Tex.
- 45-Nickerson, T. A, I. F. Vujicic, y A. A. Lin (1976): Colorimetric Estimation of Lactose and Its Hidrolitic Products. J. Dairy Sci. 59: 386-390.
- 46-Norma Oficial Mexicana NOM-F-209 (1985). Alimentos Lácteos Queso Tipo Chihuahua. Dirección General de Normas. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- 47-Nuñez, M., M. Gaya, M. Medina, M. Rodríguez, y A. García, (1986). Changes in Microbiological, Chemical, Rheological and Sensory Characteristics During Ripening of Vaccum Packaged Manchego Cheese. J. F. Sci. 51, (6): 1451-1454.

- 48-Olano, A. (1981): Recientes Aplicaciones de la Ultrafiltración y Osmosis Inversa en Industrias Lácteas, Ind. Lác. 30, (6): 19-34.
- 49-Paulson, D. J., R. L. Wilson, y D. Spatz (1984): Crossflow Membrane Technology and its Applications F. Technol. 12: 77-87.
- 50-Pearson, D. (1977): The Chemical Analysis of Foods. Ed. Chemical Publishing Co., N. Y.
- 51-Perez Gavilán (1984): Bioquímica y Microbiología de la Leche Ed. Limusa, Méx.
- 52-Perry, R. H. y C. H. Chilton (1983): Manual del Ingeniero Químico Ed. Mc Graw Hill.
- 53-Rubin, J. (1983): La Utilización de Filtración por Membranas en la Industria Lechera. Ind. Lac. Abril: 21-26.
- 54-Santos, M. (1987): Leche y sus Derivados. Ed. Trillas, Méx.
- 55-Sharma, S. K, L. K. Ferrier, y A. R. Hill (1989): Effect of Modified Manufacturing Parameters on the Quality of Cheddar Cheese Made from Ultrafiltration Milk. J. F. Sci. 54, (3): 573-577.
- 56-Soroca, J. M. (1974): Industrias Lácteas. Ed. Aedos, Barcelona.
- 57-Spreer, E. (1975): Lactología Industrial. Ed. Acribia, España.
- 58-Stanley, E. (1979): Membrane Processing. F. Eng. 51, (10): 81-83.
- 59-Vega, R. (1981): Construcción de un Ultrafiltro a Escala Piloto. Tesis Profesional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Méx.
- 60-Veisseyre, R. (1980): Lactología Técnica. Ed. Acribia, España.
- 61-Zall, R. (1984): Membrane Processing of Milk on the Dairy Farm. F. Technol. 12: 88-91.
- 62-Zárate, A. (1983): Propiedades Funcionales de las Proteínas del Suero Lácteo Modificado Obtenido por Ultrafiltración. Tesis de Maestría, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Méx.