

# Efecto del flujo de alimentación sobre la ultrafiltración del suero pasteurizado de queso

Proyecto especial presentado como requisito para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado  
Académico de Licenciatura

presentado por

Juan Emilio Andrade Laborde

FECHA:	_____
ENCARGADO:	_____

Zamorano, Honduras  
Diciembre, 1999

#995

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Juan Emilio Andrade Laborde

Zamorano, Honduras  
Diciembre, 1999

## DEDICATORIA

A El que fue, es y será.

A mis padres, que supieron infundarme los valores más altos.

A mis hermanos, coparticipes de este evento.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi padre por su eterno sacrificio y por su confianza en mí en todo momento.

A mi madre por su infinita paciencia y bondad, pilar de nuestra familia.

A mis hermanos que me supieron entender en las decisiones tomadas y acataron la distancia como signo de madurez y apoyo.

A mis abuelos, tíos y demás familiares que contribuyeron con su espíritu y alegría en todo el camino.

A Antonio y Gladys por su comprensión, amistad y cariño; y por brindarme la oportunidad de ser parte de su hogar, quedo en deuda eterna con ustedes.

Al Ing. Manuel Morales por su amistad y colaboración en la realización de esta tesis.

Al Dr. Munir Cheryan (UIUC) por su ayuda en la elaboración de este trabajo.

A Mónica por su entrega, paciencia, consejo, amistad y amor.

A la Familia Valdés-Quevedo por acogerme en su cálido hogar y brindarme su confianza, amistad y cariño; El Pórtico es una realidad.

A todos mis compañeros del Programa de Tecnología de Alimentos, supimos caminar el mismo trecho y hemos triunfado.

A mis tres inseparables compañeros, amigos y hermanos, Franklin, Rafael y Jhilson, por estar en los momentos más exactos de nuestras vidas. Les desco el mejor de los éxitos.

A las familias Rueda y Pilz por toda la alegría y amistad que supieron compartir conmigo.

A mis compañeras de trabajo Berta, Cleo, Lore y Marta por todo su cariño, bromas y consejos.

A personal de la Planta de Lácteos y del Laboratorio de Nutrición Animal, por su desinteresada ayuda, amistad y buenos momentos.

Al Creador, artífice principal, causa y efecto y mi eterno resguardo. Gracias ΙΧΘΥΣ.

## AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a Pronaca S.A., por el financiamiento brindado para continuar mis estudios en el Programa de Ingeniería Agronómica.

Agradezco a Zamorano, por el financiamiento brindado en la continuación de mis estudios en el Programa de Ingeniería Agronómica.

Agradezco al Banco del Pacífico del Ecuador por el financiamiento brindado para la realización de mis estudios en el Programa Agrónomo.

Agradezco al Instituto Ecuatoriano de Créditos y Becas (IECE), por el financiamiento brindado para la realización de mis estudios en el Programa Agrónomo.

## RESUMEN

Andrade, Juan. 1999. Efecto del Flujo de Alimentación sobre la Ultrafiltración del Suero Pasteurizado de Queso. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 38 p.

La industria quesera genera una cantidad elevada de suero que en Honduras es vendido a los productores de cerdos o desechado a desagües y ríos contaminando el ambiente. En países desarrollados se ha industrializado enormemente resolviendo así el problema de polución y dándole un valor agregado. Este trabajo es un estudio del proceso de ultrafiltración del suero, su objetivo fue conocer los aspectos básicos asociados al manejo del sistema y determinar el efecto del flujo sobre las variables del proceso. Se trabajó con suero de queso Zamorella, filtrado y pasteurizado, con temperatura inicial de 40°C. Se compararon dos flujos de alimentación de la membrana, establecidos por la abertura de la válvula de paso hacia ella. Las variables medidas fueron: temperatura durante el proceso, presión transmembrana (Pt), flujo de permeato, tiempo, balance de materiales y composición química de los productos. Se calculó la tasa de concentración de volumen (VCR) y el flujo de alimentación (Q) para cada abertura de válvula. Los resultados indican que Q se ve afectado directamente por la Pt y la temperatura e inversamente por el tiempo total de UF, debido al ensuciamiento de la membrana. Sin embargo, no se encontró diferencias ( $p < 0.05$ ) entre las variables mencionadas debido al flujo. El tiempo para ultrafiltrar 25kg de suero fue de una hora aproximadamente, resultando en un concentrado con alrededor de 5% de proteína cruda, 1.7% de grasa, 0.6% de cenizas y 4.6% de lactosa. El rendimiento de concentrado fue de alrededor de 12%. Se estimó los costos de producción como de Lps. 16/kg de concentrado y de Lps. 2.4/kg de permeato. Se recomienda mejorar el sistema utilizando una válvula de salida de la membrana para aumentar la PT y un intercambiador de calor para evitar el incremento de temperatura debida a la UF.

Palabras claves: concentrado proteico, retentato, permeato, membrana de filtración, subproducto de quesería.

## Nota de Prensa

## LA ULTRAFILTRACIÓN Y EL PARADIGMA DEL SUERO DE QUESO

La contaminación ambiental es uno de los temas más escabrosos dentro de las políticas de desarrollo de los países latinoamericanos. Es sin duda, el cuello de botella para muchas industrias que son ineficientes en el manejo tanto de sus recursos como de sus desechos finales.

Las industrias de alimentos encierran la clave a muchos problemas en el sub desarrollo, pero también son un problema muy grave cuando empresarios sin escrúpulos no tienen el planteamiento claro hacia el uso de los recursos y de los subproductos de fábrica.

La globalización y las ISO 9000 y 14000, ponen sobre papel de arroz a muchos industriales que se ven obligados a reestructurar sus fábricas. Este es un tema muy debatido en la actualidad, pues hablamos de industrias que se establecieron desde hace décadas y que no planearon estos cambios al principio.

A la víspera de los acontecimientos mundiales, muchas empresas grandes, en países desarrollados, están reestructurando sus fábricas, pero su objetivo final es su posicionamiento en los mercados y no la sostenibilidad del sistema.

¿Qué pasará con las pequeñas empresas, peor aún con las artesanales de nuestros países, que no podrán adaptarse a los sistemas de altísima calidad propuestos por los creadores del imperialismo capitalista? ¿Nos convertiremos en simples distribuidores y consumidores de productos elaborados en el extranjero?

La ultrafiltración (UF) es una alternativa. Esta es un proceso tecnológico de avanzada, que utiliza la presión y membranas especiales, para concentrar solutos. Se utiliza en países desarrollados para concentrar subproductos de fábrica como el suero de queso. Esta es una salida viable al uso de este recurso, considerado basura, por unos y comida para animales, por otros.

Desde hace décadas se estudian las proteínas del suero, llegando a la conclusión de que éstas son de altísimo valor biológico y que tienen una gama de aplicaciones en la industria de alimentos.

Con el fin de estudiar el proceso de UF, como primer paso a la industrialización de este recurso, se estableció un estudio en Zamorano entre enero y septiembre de 1999, para caracterizar la variables y el flujo de proceso más adecuado a las condiciones de la planta de lácteos de la misma Institución.

Los productos de este proceso son dos, el retentato o concentrado y el permeato. En el primero se concentran moléculas grandes, como las proteínas y los glóbulos grasos; y en el segundo las moléculas pequeñas como la lactosa, vitaminas y minerales.

En este ensayo se estudió el efecto de dos flujos de alimentación, regulados por una válvula, sobre el proceso de UF. Las variables que fueron medidas fueron la temperatura, la presión transmembrana, el flujo de permeato y el tiempo total de UF. No hubo diferencias entre los efectos de los flujos sobre el proceso, concluyendo que ambos tienen efectos similares.

El análisis químico de los productos concluyó con la obtención de un concentrado proteico de alrededor de 5% y 1.8%, de proteína cruda y grasa, respectivamente. Mientras tanto, el conteo microbiológico del suero resultó muy elevado, debido al cultivo añadido en el proceso de hacer queso.

Sin embargo, los métodos de pasteurización utilizados para reducir el conteo microbiano fueron efectivos. A pesar de esto, se recomienda pasteurizar los productos de la UF para asegurar su calidad.

El costo de obtener el retentato y el permeato fue de Lps. 16.00 y Lps. 2.38 por kg, respectivamente; con lo cual le damos un valor agregado a un subproducto de fábrica cuyo precio de transferencia a la sección de cerdos de Zamorano es de Lps. 0.1 por kg.

A pesar de que el potencial de las aplicaciones de esta tecnología es muy amplio, aún debemos romper con el paradigma del suero en nuestros países, ya que estamos perdiendo dinero y contaminando el ambiente.

## CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	x
	Índice de Cuadros.....	xii
	Índice de Anexos.....	xiii
1	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	1
1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3	LÍMITES DEL ESTUDIO.....	2
1.4	OBJETIVOS.....	2
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	3
2.1	EL SUERO: DEFINICIÓN, COMPOSICIÓN QUÍMICA, CARACTERÍSTICAS Y CLASES.....	3
2.2	APLICACIONES DEL SUERO EN LA INDUSTRIA.....	4
2.3	PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN.....	5
2.3.1	Generalidades: pasteurización y limpieza.....	5
2.4	FACTORES QUE AFECTAN LA UF.....	6
2.4.1	Membranas: generalidades, tipos y características.....	6
2.4.1.1	Material de la membrana.....	7
2.4.1.2	Variabilidad entre membranas.....	7
2.4.1.3	Configuración de las membranas.....	7
2.4.1.4	Efectos del ensuciamiento y de la adsorción.....	7
2.4.1.5	Membranas de fibra hueca.....	7
2.4.2	Materia prima: características físicas.....	8
2.4.2.1	El tamaño de la molécula.....	8
2.4.2.2	La forma de la molécula.....	8
2.4.2.3	Presencia de otros solutos.....	9
2.4.2.4	Condiciones microambientales.....	9
2.4.3	Parámetros del proceso: modelos de predicción del flujo.....	9
2.4.3.1	Presión transmembrana (Pt).....	10

2.4.3.2	Temperatura.....	10
2.4.3.3	Concentración de la alimentación.....	11
2.4.3.4	Turbulencia y tasa de flujo.....	11
2.4.4	Concentración de solutos.....	12
2.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PERMEATO Y DEL RETENTATO.....	13
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1	UBICACIÓN.....	14
3.2	MATERIALES.....	14
3.3	MÉTODOS.....	15
3.3.1	Montaje del equipo.....	15
3.3.2	Procesamiento.....	15
3.3.2.1	Pasteurización del suero.....	15
3.3.2.2	Determinación del caudal de la bomba.....	15
3.3.2.3	Medición del flujo de agua limpia y de las presiones transmembrana.....	15
3.3.2.4	Tratamientos.....	15
3.3.2.5	Variables estudiadas.....	16
3.3.2.6	Diseño experimental.....	16
3.3.2.7	Balance de materiales.....	16
3.3.3	Caracterización química y microbiológica.....	16
3.3.3.1	Caracterización química.....	16
3.3.3.2	Caracterización microbiológica.....	16
3.3.4	Análisis de costos.....	17
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1	MONTAJE DEL EQUIPO.....	18
4.2	PROCESAMIENTO.....	18
4.2.1	Pasteurización del suero.....	18
4.2.2	Determinación del caudal de la bomba.....	19
4.2.3	Medición del flujo de agua limpia y de las presiones transmembrana.....	19
4.2.4	Ultrafiltración del suero.....	20
4.2.5	Balance de materiales.....	22
4.3	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.....	23
4.4	ANÁLISIS DE COSTOS.....	24
5	CONCLUSIONES.....	25
6	RECOMENDACIONES.....	26
7	BIBLIOGRAFÍA.....	27
8	ANEXOS.....	28

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

1.	Composición del suero dulce y ácido.....	3
2.	Composición del permeato y retentato, obtenidos por la UF de suero de queso Zamorella a 40°C.....	13
3.	Evaluación microbiológica comparativa entre pasteurización por placas y por tandas (UFC/mL).....	19
4.	Caudal de agua (L/min) arrojados por la bomba en función de la abertura de la válvula.....	19
5.	Presión de entrada, salida y transmembrana en función de la temperatura y la abertura de la válvula utilizando agua.....	20
6.	Resumen de la variables evaluadas en la UF de suero.....	21
7.	Balance de materiales de la UF del suero.....	23
8.	Promedios de composición química (%) y pH del suero, permeato y retentato.....	23

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	
1.	Portaequipo de UF portátil..... 28
2.	Esquema del marcado en la válvula..... 28
3.	Esquema del flujo de proceso..... 29
4.	Hoja de registro de datos..... 30
5.	Diagrama del flujo de proceso..... 31
6.	Aumento de temperatura en el tiempo de UF..... 32
7.	Disminución del flujo de permeato en el tiempo de UF..... 33
8.	Comparación de presiones transmembrana en el tiempo de UF..... 34
9.	Análisis de costos para el retentato..... 35
10.	Análisis de costos para el permeato..... 37

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El suero es el principal subproducto de la industria quesera, que se define como el remanente líquido que queda después de remover la caseína y la grasa de la leche en el proceso de hacer queso (Webb, 1983).

En países desarrollados el suero se deshidrata y sus aplicaciones son muy diversas, desde fórmulas para infantes hasta ingredientes para embutidos. En países europeos, el mercado de este producto ha aumentado desde 1975 hasta volúmenes de 996 millones de toneladas en 1992.

En Honduras existen varias industrias lácteas y muchas queserías artesanales que generan suero en gran cantidad. Este es vendido a precios muy bajos a los engordadores de cerdos, o en su defecto es simplemente desechado a los desagües o directamente a los ríos aledaños. Estas últimas prácticas contaminan las aguas causando un efecto detrimental a los peces y otros organismos acuáticos, ya que este subproducto tiene un elevado DBO de 50000 ppm. Cheryan (1986) compara al suero en términos de contaminación causada del agua con un equivalente poblacional de 600 personas.

La ultrafiltración (UF) es una técnica preliminar en la obtención de los concentrados proteicos de suero de queso. Se define como el proceso que permite la separación selectiva de solutos de bajo peso molecular junto con el agua, de alimentos líquidos incluyendo jugos de frutas y vegetales, huevo, suero y leche. Se denomina permeato a la fase líquida más los solutos que pasan a través de la membrana, y retentato a la fase líquida más los solutos de mayor tamaño que el poro de la membrana (Kosikowski, 1986).

En Zamorano, un estudio preliminar ultrafiltrando suero dulce de queso logró concentrar un producto con más de 5% de proteína total, del cual se podrían derivar variadas aplicaciones en la industria de alimentos (Revelo, 1998). Este fue el primer estudio orientado a buscar una utilización más eficiente de los subproductos de la industria láctea y de los recursos totales.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El estudio llevado a cabo en Zamorano no pudo ser realizado bajo condiciones operacionales óptimas y controladas debido a la falta de equipo adecuado, dejando por fuera factores que afectan la UF, y que deben estudiarse para estandarizar el proceso y obtener un producto de calidad estable. Dentro de estos factores se encuentran: la temperatura, la presión y la velocidad de flujo, siendo este último determinante en el rendimiento final de la UF.

El presente proyecto evaluó el efecto del flujo de alimentación con suero pasteurizado sobre el proceso de ultrafiltración.

## 1.3 LÍMITES DEL ESTUDIO

Al no contar con instrumentos como un intercambiador de calor y un medidor de flujo, los datos fueron ajustados según fórmulas teóricas. Se utilizó como tanque en la ultrafiltración la envasadora de yogur, cuya capacidad de 25 kg estableció el límite de suero a utilizar en cada corrida.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo general

Determinar el efecto del flujo de alimentación sobre las variables de la ultrafiltración (UF) del suero.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las variables que afectan la UF: temperatura, presión transmembrana, flujo de permeato y tiempo.
- Estimar el flujo de alimentación inicial en función de la abertura de la válvula.
- Evaluar los balances y rendimientos del retentato y permeato obtenidos.
- Determinar la composición química del retentato y permeato.
- Estandarizar el proceso de UF del suero bajo las condiciones actuales.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 EL SUERO: DEFINICIÓN, COMPOSICIÓN QUÍMICA CARACTERÍSTICAS Y CLASES

El suero es un líquido opaco de color amarillo verdoso que representa el 90% del volumen de la leche. La composición de este subproducto varía dependiendo de las características de la leche y de las condiciones de elaboración del queso del que proceda. En general contiene: 4.9 % de lactosa, 0.9% de proteína cruda, 0.6% de cenizas, 0.3% de grasa, 0.2% de ácido láctico y 93.1% de agua (Madrid, 1994, mencionado por Revelo, 1998).

De la elaboración de quesos, se derivan dos tipos de suero. El suero ácido, que tiene un pH menor a 5.1, es producido por la acidificación directa de la leche descremada para la elaboración de caseína o queso Cottage. El suero dulce, que tiene un pH arriba de 5.6, es el subproducto de la coagulación de la leche con cuajo. En el Cuadro 1 se observan la composición química de ambos tipos de suero, los cuales se diferencian en su contenido de minerales, ácido láctico y grasa (Morr, 1989).

Cuadro 1. Composición del suero dulce y ácido.

Componente (%)	Suero dulce	Suero ácido
Lactosa	4.9 (74) <sup>a</sup>	4.4 (69)
Proteína (N x 6.38)	0.8 (12)	0.7 (11)
Minerales	0.5 (8)	0.8 (12)
Grasa	0.2 (3)	0.04 (0.6)
Acido láctico	0.2 (3)	0.5 (8)
Agua	93.4	93.6

Fuente: Josephson y Harper, mencionado por Morr (1989).

<sup>a</sup> Valores en paréntesis son porcentajes en base seca.

Típicamente 10 kg de leche pueden dar entre 1 y 2 kg de queso, y 8-9 kg de suero. La evacuación de este suero es uno de los mayores problemas en la industria lechera, ya que tiene un elevado DBO (Cheryan, 1986).

## 2.2 APLICACIONES DEL SUERO EN LA INDUSTRIA

En vista de la actual contaminación de las aguas por los desechos industriales y de la búsqueda de la eficiencia en el uso de los recursos, la utilización del suero ha crecido marcadamente en la última década.

Los países industrializados han desarrollado sistemas de producción más eficientes, los cuales utilizan la mayoría de subproductos de fábrica. Es así como el suero se ha convertido, en menos de dos décadas, en un producto que tiene innumerables aplicaciones.

Entre los tratamientos previos a la obtención de los productos del suero están la ósmosis reversa, la ultrafiltración, el intercambio iónico, la diafiltración, la evaporación, la centrifugación, etc.; que resultan en los siguientes productos comerciales:

1. Suero en polvo, que proviene de su concentración y evaporación.
2. Suero en polvo desmineralizado, al cual se le han eliminado las sales por ósmosis reversa y electrodiálisis.
3. Concentrados proteicos estandarizados a varios niveles de proteína, los cuales son los más vendidos y de mayor aplicación en la industria.
4. Lactosa, que proviene de la concentración, cristalización y separación.

Las aplicaciones finales de estos productos, especialmente de los concentrados proteicos, son múltiples y se ven determinadas por la concentración de las proteínas contenidas, en su mayoría  $\alpha$ - lactoalbúminas y  $\beta$ -lactoglobulinas, sus propiedades y el porcentaje de desnaturalización. Según Fennema (1996), entre los diversos usos tenemos:

- En horneados: pan, pasteles, etc.
- En lácteos: yogur, quesos, helados.
- En bebidas: de sabor a frutas, malteadas, regeneradores de electrolitos.
- En postres: cubiertas, rellenos.
- En confitería: toffees, caramelos, marshmallows.
- En cárnicos: embutidos, imitaciones de carne.

Actualmente, se está empleando suero directamente como materia prima en bebidas, lo cual demuestra que se puede utilizar sin mayor uso de equipo muy sofisticado y tecnologías de avanzada (Khamrui, *et al.*, 1998).

## 2.3 PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN

### 2.3.1 Generalidades: pasteurización y limpieza

La ultrafiltración (UF) es una tecnología que se ha adaptado a la industria láctea desde hace 20 años. Sus aplicaciones son variadas, desde la misma industria de automóviles hasta la biotecnología avanzada.

Según Kosikowski (1986), la UF es una técnica preliminar en la obtención de concentrados proteicos de suero de queso. Se define como el proceso que permite la separación selectiva de solutos de bajo peso molecular, junto con el agua, de alimentos líquidos.

Según Pal (1987), la UF es un proceso que envuelve el manejo de la presión en una membrana para separar y fraccionar componentes de soluciones.

Otras tecnologías desarrolladas en el fraccionamiento de líquidos incluyen:

- **Ósmosis reversa (OR).** Esta es una tecnología de filtración basada en la concentración de soluciones por eliminación de agua.
- **Nanofiltración (NF).** Esta se basa en la eliminación de componentes orgánicos por la remoción parcial de iones monovalentes como el Na y el ClO<sup>-</sup>.
- **Microfiltración (MF).** Por este proceso se eliminan microorganismos y moléculas grandes. Es un paso previo a la UF.

La pasteurización definida como el sostenimiento de una temperatura específica durante un lapso de tiempo, es un factor importante en la elaboración de productos alimenticios, cuyo objetivo es eliminar microorganismos patógenos en los mismos. Por esto previo al procesamiento de las distintas materias primas, el tratamiento con calor es imperativo para cualquier producto de consumo humano.

En experimentos hechos por Morr (1987), se concluyó que la pasteurización a alta temperatura y corto tiempo sobre la leche, suero de queso Cheddar y retentato del mismo suero, no tuvo efecto significativo en la composición química de los concentrados proteicos obtenidos. Sin embargo, este mismo tratamiento térmico sobre el retentato, tuvo impacto negativo sobre la solubilidad del concentrado proteico. Por último, la propiedad espumante de la proteína no se vio afectada por la pasteurización del suero y del retentato; aunque sí hubo efecto significativo detrimental sobre esta propiedad en el caso de la leche.

La limpieza de los equipos e instrumentos que se utilizan en las plantas de procesamiento, dependerá del tipo de alimento que se está elaborando; y esto a su vez, es determinante del tipo de agente de limpieza a utilizar. La limpieza de unidades de UF para procesar alimentos debe ser rigurosa y específica. El uso de los agentes de limpieza dependerá del tipo de membrana y del alimento a procesar (A/G Technology Co., 1999).

En este sentido la limpieza de los equipos se puede generalizar en tres aspectos que son:

- Limpieza física: que incluye la separación de los residuos de mayor tamaño.
- Limpieza química: que significa la eliminación de todo tipo de remanentes alimenticios e impurezas.
- Limpieza biológica: refiriéndose a la calidad microbiológica de los equipos.

Según Cheryan (1998), algunos de los factores más importantes que se deben considerar en la limpieza de membranas de UF son:

- La naturaleza de la membrana.
- El conocimiento de la mecánica de los fluidos.
- La duración de la limpieza.
- La temperatura.
- Calidad del agua.
- pH.

La metodología de limpieza en las industrias sigue un patrón muy marcado, en el cual los equipos después de su uso son sometidos a tres tratamientos secuenciales: alcalino, ácido y alcalino. Luego del procesamiento de materias primas, como el suero, se debe sanitizar el equipo primero con un tratamiento ácido y después con uno alcalino (Cheryan, 1998).

## 2.4 FACTORES QUE AFECTAN LA UF

### 2.4.1 Membranas: generalidades, tipos y características

Las membranas se clasifican según su peso molecular de corte, el cual se identifica con el peso molecular de la partícula más pequeña que no pasa a través de la membrana. Se expresa en sus siglas en inglés NMWCO, que significa Nominal Molecular Weight Cut-Off, lo que se refiere al peso molecular de un soluto con 90% de retención en esa membrana. Algunos de los módulos de membranas más conocidos son (Manual de Industrias Lácteas, 1996):

- Láminas enrolladas en espiral, que sirve para OR, NF y UF.
- Placas y bastidor, para UF y OR.
- Tubos hechos de polímeros, para UF y OR.
- Tubos de cerámica, para MF y UF.
- Fibra hueca, utilizados más en UF.

Según Cheryan (1986), entre las características de las membranas que afectan a la UF están:

**2.4.1.1 Material de la membrana.** Diferentes materiales de membranas con el mismo MWCO pueden tener diferentes retenciones de solutos. Por ejemplo, comparando con membranas de polisulfona, las de acetato de celulosa tienen una mayor distribución de poros y altas retenciones de solutos. Este fenómeno se relaciona probablemente con los efectos del ensuciamiento, que a su vez se relaciona con la hidrofobicidad, carga y desigualdad de la superficie.

**2.4.1.2 Variabilidad entre membranas.** Aunque se estandaricen los métodos para la producción masiva de membranas, la variabilidad entre lotes producidos no se puede desechar. Esta variabilidad es mínima entre lotes, luego de hacer pruebas exhaustivas con base estadística. Sin embargo, los flujos específicos a cada unidad producida son diferentes y pueden tener repercusiones en el procesamiento.

**2.4.1.3 Configuración de las membranas.** Al igual que se habló del material de las membranas, los tipos de configuración en que éstas se disponen tienen diferencias sobre variables como el flujo. Por ejemplo, entre membranas de fibra hueca y de lámina enrollada.

**2.4.1.4 Efectos del ensuciamiento y de la adsorción.** Las interacciones soluto-membrana que resultan en la adsorción física de los solutos por las membranas, tanto sobre la superficie como por los poros, causan pérdidas obvias y la disminución de la concentración del soluto. Esto se traduce en la menor separación de solutos en la filtración. El efecto del ensuciamiento se discutirá más adelante.

**2.4.1.5 Membranas de fibra hueca.** Las membranas de fibra hueca son módulos en cartuchos que contienen haces de 45 a más de 3000 elementos de fibra hueca cada uno. Las fibras se orientan en paralelo, se ligan o empotran a una resina por sus extremos y se encierran en un tubo colector elaborado a base de resina epoxi. El diámetro interior de los tubos oscila entre 0.5 y 2.7 mm, siendo la superficie de contacto interna y se construye a partir de polímeros como la polisulfona.

Muchos módulos de UF se han desarrollado a partir de acetato de celulosa (AC), polisulfona (PS), poliamida, fluoruro de polivinilo, poliacrinitrilo, policarbonato y otros; los primeros en ser comercializados fueron los de AC.

La polisulfona consta de unidades de difenilsulfona. El grupo  $\text{SO}_2$  es bastante estable por causa de la atracción electrónica de los electrones en resonancia entre los grupos feníles adyacentes. La repetición de unidades crea un pobre movimiento dentro de la molécula y

la atracción electrónica de los sistemas de electrones en resonancia entre moléculas adyacentes. Esto contribuye a un alto grado de inmovilidad molecular, produciendo mayor rigidez, fuerza, resistencia y estabilidad dimensional (Cheryan, 1986).

Según Cheryan (1998), algunas de las características que hacen de las membranas de polisulfona las más populares en la industria son:

- Amplio rango de temperatura, éstas resisten desde 75 a 125°C
- Rangos de pH entre 2 y 13, esto es deseable para la limpieza de las unidades.
- Buena resistencia al cloro; algunos fabricantes permiten el uso de 200 ppm de cloro para la limpieza y de 50 ppm de cloro para el mantenimiento. Sin embargo, la larga exposición al cloro puede dañar la membrana.
- Son fáciles de fabricar en varios tamaños y modelos.
- Amplio rango de tamaños de poro disponibles para aplicaciones en UF y MF.
- Buena resistencia a químicos como hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos halogenados saturados, alcoholes y ácidos. Sin embargo, no ofrecen mucha resistencia a hidrocarburos aromáticos, cetonas, éteres y ésteres.

Las mayores desventajas de estas membranas a base de PS, son:

- Los límites aparentes de presión, resisten alrededor de 25 psig.
- Hidrofobicidad; esto es importante, pues tiende a una fuerte interacción con los solutos, lo cual termina en su pronto ensuciamiento comparada con otras.

Las nuevas membranas son de tipo mineral como el circonio, que pueden soportar presiones mayores a 20 atm y temperaturas arriba de 400°C.

## 2.4.2 Materia prima: características físicas

Según Cheryan (1998), otro de los factores que afecta a la UF es la materia prima que se está procesando, es decir el suero. Esta se relaciona directamente con la capacidad de retención de la membrana y el manejo del sistema. Las características físicas del fluido que afectan la membrana son:

**2.4.2.1 El tamaño de la molécula.** Es el factor más importante con membranas de UF y MF, ya que nos sirve de punto de referencia al escoger una membrana específica para el procesamiento de un producto en especial. En este punto es importante el NMWCO de la membrana como se explicó anteriormente.

**2.4.2.2 La forma de la molécula.** La forma y conformación de las macromoléculas son también afectadas por la interacción iónica, temperatura e interacciones con otros componentes. Esto se relaciona con la capacidad de atravesar un poro de la pared de la fibra, o sea, el hecho de que la molécula esté enrollada o extendida, afecta su retención en la membrana.

**2.4.2.3 Presencia de otros solutos.** En general, solutos de bajo peso molecular (como azúcares y sales), menores que el menor de los poros de la membrana, son fácilmente permeables. Sin embargo, cuando existen interacciones entre estos solutos y moléculas grandes, como las de proteína, puede resultar en la impermeabilidad de las últimas.

**2.4.2.4 Condiciones microambientales.** Son propiciadas por las interacciones iónicas y el pH de la solución; estos factores afectan la conformación y la forma de las moléculas de soluto, lo cual también afectaría la separación de las mismas. Este fenómeno se puede utilizar para mejorar la separación de una molécula de proteína de otras. Por ejemplo, si el pH de la solución es ajustado al punto isoeléctrico de una proteína y la otra es de la misma carga que la membrana, la retención de la última será mayor que la de la primera.

### 2.4.3 Parámetros del proceso: modelos de predicción del flujo

Según Cheryan (1998), existen varias aproximaciones a los modelos de flujo en función de parámetros de operación del sistema y de las propiedades físicas, pero ninguna es satisfactoria. El problema se encuentra en la dificultad de precisar o modelar lo que ocurre en la región adyacente a la superficie de la membrana.

Sin embargo, en situaciones ideales, sin tomar en cuenta factores como el ensuciamiento y la concentración polarizada, la mejor descripción del flujo de fluidos a través de membranas con microporos está dada por la ley de Hagen-Poiseuille para flujos en canales. Este modelo (ecuación [1]), relaciona la caída de presión, viscosidad, densidad y la dimensión de los canales a la tasa de flujo a través de un conducto y es de mucha utilidad en el procesamiento con membranas. La forma del modelo es la siguiente:

$$Q = \frac{\epsilon dp^2 PT}{32 \Delta x \mu} \quad [1]$$

donde  $Q$  es la tasa de flujo a través de la membrana en litros por metro cuadrado por hora;  $\epsilon$  es la porosidad de la superficie de la membrana;  $dp$  es el diámetro del conducto, en este caso el diámetro medio del poro;  $PT$  es la presión transmembrana aplicada;  $\Delta x$  es el grosor de la pared del conducto y  $\mu$  es la viscosidad del fluido permeándose por la membrana.

Hay dos métodos de operar equipos de UF: terminal y de flujo cruzado. El de tipo terminal consiste en el bombeo directo hacia el filtro, en donde sólo hay una alimentación y un producto, el permeato. El modo de flujo cruzado, en el cual trabajan la mayoría de las membranas de UF, consiste en el bombeo de la alimentación a través de y tangencialmente a la superficie de la membrana. Aquí de una alimentación se obtienen dos productos, el retentato y el permeato. Este último método tiene beneficios en el aumento de la tasa de flujo promedio por el menor ensuciamiento de la membrana.

Las siguientes suposiciones se deben tomar en cuenta en el modelo de Hagen-Poiseuille:

- El flujo a través de los poros es laminar, lo que significa un número de Reynolds menor a 1200. Esto es válido para la mayoría de las membranas de UF.
- La densidad es constante, o sea, el líquido es incompresible.
- El flujo es independiente del tiempo (condiciones de estado estable).
- El fluido es newtoniano.

Cheryan (1986), establece que el flujo a través de las membranas está determinado por cuatro factores que son:

**2.4.3.1 Presión transmembrana (Pt).** De acuerdo al modelo (ecuación [2]), el flujo es directamente proporcional a la presión aplicada e inversamente proporcional a la viscosidad. La viscosidad es principalmente controlada por la concentración de los sólidos y por la temperatura. La siguiente ecuación se deriva para el cálculo de la Pt:

$$P_t = [(P_E + P_S) / 2] - P_P \quad [ 2 ]$$

donde  $P_E$  es la presión a la entrada de la membrana;  $P_S$ , la presión a la salida de la membrana; y  $P_P$ , la presión de la línea del permeato.

El flujo de agua aumenta linealmente con el incremento de la  $P_T$ . El flujo de alimentación (suero) incrementará en función de la  $P_t$ , pero se volverá asintótica a medida que pase el tiempo de UF y aumente la concentración por polarización (A/G Technology Co., 1999).

La concentración por polarización es una complicación en el proceso, la cual aumenta cuando hidrocoloides, macromoléculas (proteínas) u otras moléculas de gran tamaño son filtradas. Estos compuestos forman una capa en la superficie de la membrana, que puede ser de consistencia viscosa o gelatinosa, de acuerdo al tipo de sólido que la compone. También se conoce como capa pastel, capa de polarización, capa gel, y no se debe confundir con el efecto del ensuciamiento, el cual ocurre por las interacciones del soluto y la membrana, descrito más adelante.

**2.4.3.2 Temperatura.** En general, altas temperaturas mejoran la tasa de flujo. Esto es válido asumiendo que otros efectos inusuales ocurran simultáneamente, como el ensuciamiento debido a la precipitación de sales, la desnaturalización de proteínas y la gelatinización del almidón a elevadas temperaturas.

En membranas de fibra hueca el flujo del agua variará linealmente en función de la viscosidad del agua sobre un estrecho rango (A/G Technology Co., 1999).

Además, temperaturas elevadas en un rango de 40 a 60 °C reducen la viscosidad del fluido, disminuyendo la energía de bombeo requerida; esto se manifiesta en la menor caída de presión requerida para mantener la velocidad.

Por último, altas temperaturas ( $>55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) pueden controlar el crecimiento bacteriano. Estas son las razones para trabajar con la mayor temperatura permitidas por el suero y la membrana (Cheryan, 1998).

**2.4.3.3 Concentración de la alimentación.** Según Cheryan (1998), el flujo decrece exponencialmente con el aumento de la concentración del soluto de alimentación. Se obtienen mayores concentraciones de soluto, evitando el efecto de vórtex, en tanques con base cómica.

**2.4.3.4 Turbulencia y tasa de flujo.** La turbulencia, producida tanto por agitación, bombeo del fluido o movimiento de la membrana, tiene un gran efecto sobre la tasa de flujo en la región controlada de transferencia de masa. Esta agitación cerca de la superficie de la membrana limpia los solutos acumulados en la capa de gel, reduciendo su grosor. Este es uno de los métodos más simples y efectivos contra el efecto de la concentración por polarización.

A medida que incrementa la tasa de recirculación se aumentará la tasa de flujo. Tasas de agitación entre  $4000$  y  $8000\text{ sec}^{-1}$  son propensas a producir flujos negativos y constantes, siendo mejoradas con tasas mayores a  $8000\text{ sec}^{-1}$  (A/G Technology Co., 1999).

Además de estos parámetros, el flujo declina con el tiempo. Aunque la influencia del tiempo sobre el flujo puede, en algunos casos, ser insignificante en comparación con el efecto de la concentración, su efecto se debe a la duración de la UF y la constante deposición de solutos en la capa de gel (A/G Technology Co., 1999).

A su vez estos cuatro factores determinan el ensuciamiento de la membrana. Según Cheryan (1986), la mayor limitante en la tecnología de membranas es el ensuciamiento de la misma. El ensuciamiento es el detrimento irreversible del flujo debido a la deposición y acumulación de solutos en la superficie y en los poros de la membrana.

Las causas de la diferencia entre el flujo de la alimentación real y el del agua son:

- Cambios en las propiedades de la membrana: esto se produce cuando hay daños físicos en la membrana que repercuten en la permeabilidad de la misma. Entre los factores que laceran la membrana están la presión, el pH, la temperatura y otros.
- Cambios en las propiedades de la alimentación: esto se debe a la concentración de los solutos a medida que pasa el tiempo de UF. Esto se manifiesta por el aumento de la viscosidad y la densidad del material.
- Concentración por polarización: ésta se debe a otras causas que no son el ensuciamiento y se diferencia de este último porque tiene un efecto dinámico reversible, no depende del tiempo y se controla con el manejo del fluido.

Las consecuencias del ensuciamiento de las membranas durante el proceso de UF son obvias y tienen que ver con la disminución de la tasa promedio de flujo del proceso, lo cual repercute en productos de menor concentración final y desuniformidad entre corridas.

En la UF del suero de queso, el producto deseado es el retentato con una concentración mayor de proteína que el suero. En vista de esto, se prevé que el mayor tipo de soluto que ensucia la membrana es la proteína y basándose en esto se elaboran los patrones de limpieza explicados más adelante.

### 2.4.3 Concentración de solutos

Según Cheryan (1986), para estimar la cantidad relativa de concentración de un soluto por UF se debe hacer un modelo matemático. Se asume que la probabilidad (P) de una partícula pase a través de la membrana es 1 cuando son solutos con un 0% de extracción. La extracción ( $\sigma$ ) en cualquier punto del proceso es definida en la como (ecuación [3]):

$$\sigma = 1 - \frac{C_P}{C_R} \quad [3]$$

donde  $C_P$  es la concentración del soluto en el permeato y  $C_R$  es la concentración del soluto en el retentato. Inversamente P es cero para solutos que son completamente permeabilizados por la membrana.

Los datos de la UF son presentados en términos de la tasa de peso o volumen de concentración en sus siglas en inglés VCR (Volume Concentration Ratio), que se define en la ecuación [4].

$$VCR = \frac{V_O}{V_R} \quad [4]$$

donde  $V_O$  es el volumen inicial y  $V_R$  es el volumen del retentato.

Para modelar la concentración de solutos se puede seguir según Cheryan (1986) la siguiente ecuación:

$$C = C_o (VCR)^\sigma \quad [5]$$

donde  $C$  es la concentración final de los solutos y  $C_o$  la concentración inicial de los mismos. En ésta se establece que la concentración de un soluto en un momento dado de la UF está en función tanto del volumen reducido como del valor de P.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PERMEATO Y DEL RETENTATO

El permeato es un líquido translúcido, de color verde amarillento debido a la riboflavina; de olor característico y de viscosidad muy baja. El retentato es un líquido opaco, de color blanco y de viscosidad mayor a la del agua; su aspecto recuerda al de la leche, teniendo un olor muy agradable. Su color se debe a la refracción de longitudes de onda blanco. Las características químicas de ambos se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición del permeato y retentato, obtenidos por la UF de suero de queso Zamorella a 40 °C.

Componente (%)	Permeato	Retentato
Lactosa	5.89	7.03
Proteína (N x 6.38)	0.25	5.27
Cenizas	0.40	0.90
Grasa	0.00	1.25
Humedad	95.55	90.49

Fuente: Revelo (1998), adaptado por el autor.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN

El estudio acerca del efecto de la velocidad de flujo sobre la UF se desarrolló en la Planta de Lácteos de Zamorano y el análisis químico en el Laboratorio de Nutrición Animal de la misma institución.

#### 3.2 MATERIALES

##### Materia prima:

- Se utilizó suero dulce de queso Zamocriollo o Zamorella; ambos tipos de suero son acidificados con cuajo y cultivo láctico (*Lactococcus lactis*). El desuerado se efectúa luego de que la cuajada permanece 15 minutos a 41°C.

##### Equipo e instrumentos:

- Membrana de UF marca A/G Technology Corporation (Modelo UFP-10-E-55R); el diámetro interno de las fibras de 1 mm, porosidad de 10,000 NMWCO, área total de 2,1 m<sup>2</sup> y columna de 7.6 cm de diámetro y 63 cm de largo.
- Bomba centrífuga sanitaria marca L.C. Thomsen (Modelo # 5); de 2HP, 230/460 volts, trifásica, de 60 ciclos, 3500rpm, con aspas de 11 cm de largo y motor modelo 4800-25.
- Pasteurizador de tandas con capacidad de 200 L.
- Envasadora de yogur de acero inoxidable, con capacidad de 23 kg.
- Tubería y codos de acero inoxidable.
- Medidores de presión marca L.C. Thomsen (Modelo T3S-D-1 ½U- GF- BT-SS clamps 3 ½" face), de 0-100 psig y de acero inoxidable con relleno de glicerina.
- Termómetro (°F).
- Baldes de plástico.
- Probetas de plástico (1000 mL, 100 mL y 50 mL).
- Cronómetro.
- Mangueras de plástico.

- Mantas gruesas.
- Soporte de la membrana de acero inoxidable (Anexo 1).
- Válvula marcada de acero inoxidable (Anexo 2).

### 3.3 MÉTODOS

La experimentación se dividió en tres partes: montaje del equipo, procesamiento, análisis químico y microbiológico y costeo del producto.

#### 3.3.1 Montaje del equipo

El montaje del equipo se realizó según lo especifica el fabricante de la membrana, se tomaron en cuenta factores como posición, drenaje de permeato, colocación de salidas, tipo de mangueras, posición de los manómetros y el tipo de tanque alimentador y su forma (Anexo 3).

#### 3.3.2 Procesamiento

**3.3.2.1 Pasteurización del suero.** Se hicieron tratamientos térmicos al suero para mantener su vida útil. Se utilizaron dos métodos de pasteurización: por tandas y alta temperatura corto tiempo.

**3.3.2.2 Determinación del caudal de la bomba.** Para tener un flujo estable se marcó la válvula de entrada de la alimentación en ocho segmentos, siendo ocho octavos la posición de la válvula abierta. Se midió el caudal de la bomba a tres aberturas de válvula cinco octavos, seis octavos y siete octavos. Se utilizaron un manómetro, una balanza y un cronómetro para medir el caudal en litros por minuto. Fue un paso preliminar a la selección de los tratamientos.

**3.3.2.3 Medición del flujo de agua limpia y de las presiones transmembrana.** Se determinó el flujo de permeato del agua limpia que especifica el fabricante. Además, se midieron las presiones transmembrana del flujo de agua limpia, a las dos aberturas seleccionadas y a dos temperaturas.

**3.3.2.4 Tratamientos.** Se estudió el efecto de la velocidad de alimentación medida en LMH (litros por metro cuadrado por hora) sobre los parámetros estudiados. Se realizaron seis corridas (2 tratamientos x 3 réplicas).

Las velocidades observadas fueron dos, y fueron establecidas de acuerdo a la resistencia máxima de presión de la membrana y a mediciones del caudal con agua corriente; y de acuerdo a lo explicado anteriormente se tomaron las velocidades en cinco y seis octavos de apertura de válvula.

**3.3.2.5 Variables estudiadas.** Flujo del permeato en LMH, la presión transmembrana  $P_t$  en kPa (kilo pascales), tiempo total de la UF medido en minutos (desde que empieza el proceso hasta que deje de fluir permeato), temperatura en °C y los pesos en kg de los productos obtenidos. Esto datos se anotaron en hojas de registro especiales para cada comida (Anexo 4).

**3.3.2.6 Diseño experimental.** Se utilizó un diseño completamente al azar, diferencias de medias por Tukey y DMS, regresión lineal y el ANDEVA para encontrar diferencias significativas a un nivel  $P < 0.05$  sobre los parámetros medidos.

**3.3.2.7 Balance de materiales.** Se tomaron en cada corrida los pesos de los productos, permeato y retentato, a fin de hacer el balance de materiales y efectuar posteriormente la evaluación química.

### 3.3.3 Caracterización química y microbiológica

Se tomaron muestras del retentato y permeato de cada corrida y a cada una de ellas se las evaluó químicamente. Aparte se evaluó microbiológicamente al suero según los métodos de la AOAC.

**3.3.3.1 Caracterización química.** Se realizaron los siguientes análisis químicos:

- Humedad, horno a 105°C según AOAC (1990).
- Cenizas, incineración a 580°C, AOAC (1990).
- Proteína cruda,  $N \times 6.38$ , AOAC (1990).
- Grasa, según Babcock, modificado de AOAC (1990).
- Lactosa, por el método de carbohidratos totales con fenol-ácido sulfúrico, Nielsen (1999).
- pH, medido con potenciómetro.

**3.3.3.2 Caracterización microbiológica.** Las pruebas efectuadas fueron recuentos totales por el método de Plate Count y presencia de coliformes por el método de Conteo Total en medio red violet agar (AOAC, 1990).

### 3.3.4 Análisis de costos

El análisis de costos se efectuó mediante el modelo de costeo de la Planta de Lácteos de Zamorano, se tomaron en cuenta los costos variables y fijos de la producción del concentrado y permeato, además de la depreciación del equipo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 MONTAJE DEL EQUIPO

El montaje del equipo se llevó a cabo de acuerdo a los diseños de flujo con recirculación en tandas expuestos por Cheryan (1986). Para armar el modelo se construyó una estructura de acero inoxidable y se adaptó un tanque de aproximadamente 23 litros de capacidad. Los otros componentes se fueron añadiendo según el diseño citado (Anexo 1).

### 4.2 PROCESAMIENTO

El diagrama general del proceso ejemplifica cada punto por donde fluye el suero hasta su división en retentato y permeato (Anexo 2).

#### 4.2.1 Pasteurización del suero

La pasteurización, tanto por placas como por tandas, fue efectiva (Cuadro 3). Esto se refleja en la ausencia de coliformes y de bacterias en los recuentos efectuados. El conteo de coliformes totales fue nulo como se esperaba, ya que el queso es elaborado con leche pasteurizada. Las placas del suero antes de pasteurizar tuvieron conteos totales elevados debido a que provienen de una leche acidificada con cuajo y bacterias acidófilas que precipitan la caseína y forman la cuajada. Con esto se puede entender la alta susceptibilidad al deterioro del suero y la rapidez con la que hay que tratarlo térmicamente para reducir este conteo inicial que contribuirá a desmejorar la calidad del mismo.

Cuadro 3. Evaluación microbiológica comparativa entre pasteurización por placas y por tandas (UFC/mL).

Pasteurización	Placas		Tandas	
	Antes	Después	Antes	Después
Prueba	$1.0 \times 10^9$	0.0	$2.0 \times 10^9$	0.0
	$2.0 \times 10^9$	0.0	$1.0 \times 10^9$	0.0
	$4.0 \times 10^9$	0.0	$3.0 \times 10^9$	0.0
Promedio	$2.3 \times 10^9$	0.0	$2.0 \times 10^9$	0.0
Coliformes totales	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio	0.0	0.0	0.0	0.0

#### 4.2.2 Determinación del caudal de la bomba

En el Cuadro 4 se detalla las comparaciones de caudal según su abertura. Se encontró que no había diferencias entre los caudales a 6/8 y 7/8 de abertura de válvula, pero sí entre los de 5/8 y 6/8. Con este experimento se establecieron las aberturas de válvula a usar en el estudio, las cuales fueron 5/8 y 6/8.

Cuadro 4. Caudal de agua (L/min) arrojados por la bomba en función de la abertura de la válvula.

Corrida	Abertura		
	5/8	6/8	7/8
1	37.50	46.00	46.75
2	37.25	45.50	46.20
3	38.05	46.00	47.10
Promedio	37.60 <sup>a</sup>	45.83 <sup>b</sup>	46.68 <sup>b</sup>

Letras diferentes dentro de la hilera muestran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

#### 4.2.3 Medición del flujo de agua limpia y de las presiones transmembrana

Para verificar el funcionamiento óptimo de la membrana se midió el flujo de permeato del agua limpia. El ensayo verificó lo que especificaba el fabricante para el flujo de permeato de agua limpia a 25°C a 10 psi de presión transmembrana, el cual fue de 1.8 L / minuto.

Este ensayo además sirvió para determinar si había diferencias entre las presiones transmembrana a las dos aberturas de válvulas seleccionadas, utilizando agua a dos temperaturas. Se eligieron estas dos temperaturas porque eran la temperatura ambiente y la del agua caliente usadas en la limpieza y en el proceso de UF mismo. El Cuadro 5 muestra que no hay efecto de la temperatura del agua sobre la presión transmembrana a la misma abertura de válvula, pero sí hay efecto de abertura de la válvula sobre la presión transmembrana.

Cuadro 5. Presión de entrada, salida y transmembrana en función de la temperatura y abertura de la válvula utilizando agua.

Abertura	Temperatura					
	25 °C			50 °C		
	<u>Pe</u>	<u>Ps</u>	<u>Pt</u>	<u>Pe</u>	<u>Ps</u>	<u>Pt</u>
5/8	40.0	1.0	20.5 <sup>a</sup>	40.0	2.0	21.0 <sup>a</sup>
6/8	45.0	1.0	23.0 <sup>b</sup>	45.0	2.0	23.5 <sup>b</sup>

#### 4.2.4 Ultrafiltración del suero

En el Cuadro 6 se resumen los resultados encontrados para las variables medidas en la UF de suero de queso. En primera instancia se muestran las temperaturas de proceso. Se estableció 40°C como temperatura inicial para todas las corridas, pero durante la UF ésta se elevó hasta 60°C momento en el cual se colocó agua a temperatura ambiente por los lados del tanque de alimentación para mantener la temperatura estable. Con el monitoreo de la temperatura se puede verificar su tendencia a aumentar a través del tiempo de UF (Anexo 6). En la literatura se recomienda una temperatura de proceso de 50°C (Cheryan, 1986), esto se logra con un intercambiador de calor. Ante la falta de este equipo y apoyado en el trabajo de Revelo (1998) se decidió utilizar una temperatura inicial de 40°C, cabe mencionar que en ensayos previos se registraron temperaturas mayores a 70°C, las cuales son perjudiciales para los compuestos que están concentrándose y para la membrana; por esta razón se trató de controlar la temperatura enfriando el tanque receptor con agua.

Cuadro 6. Resumen de las variables evaluadas en la UF de suero.

A	#	Temperatura (°C)		Flujo de Permeato (LMH)		Presión (kPa)			Flujo de alimentación inicial (LMH)	VCR	Tiempo (min)
		Inicial	Final	Inicial	Final	PE	PS	PT			
5/8	1	40	60	15.43	4.57	174.64	23.58	99.11	240.31	8.3	60
	2	40	60	11.14	5.43	203.88	16.75	110.32	267.48	8.6	70
	3	40	60	13.14	4.86	203.88	11.31	107.59	260.91	6.8	70
	X	40	40	13.24	4.95	194.13	17.21	105.67*	256.23*	7.9*	67*
6/8	1	40	60	15.43	0.97	200.98	21.72	111.35	270.05	9.3	65
	2	40	60	11.43	4.57	235.45	18.68	127.07	308.67	8.2	70
	3	40	60	14.29	5.71	246.49	16.06	131.28	308.67	7.7	60
	X	40	60	13.72	3.75	227.64	18.82	123.23*	295.80*	8.4*	65*

A= abertura de la válvula, # = corrida.

Los flujos de permeato, iniciales y finales para cada corrida, se mantuvieron estables durante el proceso. El comportamiento de estos flujos a través del tiempo de UF (Anexo 7) concuerda con Cheryan (1986). Se estableció que el final del proceso fuera cuando el tanque alimentador no tuviera líquido que bombear a través de la bomba. Si bien es cierto que se mantuvo esta práctica para todas las corridas, los resultados fueron diferentes incluso dentro de las mismas aberturas, lo cual se puede verificar en los balances de materiales discutidos más adelante.

Las presiones transmembrana se mantuvieron en promedio en alrededor de 106 y 123 kPa para las aberturas de 5/8 y de 6/8, respectivamente. Esta diferencia en presiones no fue significativa ( $p < 0.05$ ), lo cual indica que ambas presiones al no ser diferentes se reflejan en flujos similares, tanto de alimentación como del permeato, porque son influidos por la presión transmembrana.

Los flujos de alimentación iniciales fueron calculados por el modelo de Hagen-Poiseuille, que es un modelo para fluidos que siguen la ley de la potencia o newtonianos. A pesar de la pseudo plasticidad del suero, el modelo se pudo utilizar bajo la premisa de que el fluido no cambia durante los primeros cinco minutos de UF. Esto quiere decir que las variables del modelo no cambiarían en los primeros cinco minutos del proceso.

En el Cuadro 6 se muestran los flujos iniciales de alimentación para cada corrida. Luego de realizar el análisis estadístico no se encontró diferencia ( $p < 0.05$ ) entre los flujos para ambas aberturas. Sin embargo, se puede pronosticar que los flujos de entrada al proceso disminuirán, a través del tiempo de UF, por razones explicadas en la literatura como el ensuciamiento y la concentración por polarización.

La tasa de concentración volumétrica (VCR) no mostró diferencia significativa entre los tratamientos. Esto se debe a que es independiente del flujo, ya que ésta se calcula por los productos finales obtenidos. Existe una relación directa entre VCR y porcentaje de proteína cruda, lo que concuerda con Cheryan (1986). La regresión lineal entre ambas variables a  $p < 0.05$  se explica en la ecuación [6]:

$$\%PC = 0.93.VCR - 2.95 \quad [6]$$

en donde %PC es el porcentaje de proteína cruda estimado en el retentato y VCR es la tasa de concentración volumétrica del producto.

El tiempo de UF para cada tratamiento, 5/8 y 6/8, fue en promedio de 66.7 y 66.5 minutos, respectivamente. No hubo diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre ambos tiempos, concluyendo que el tiempo de UF, dependiente del flujo inicial de alimentación, es similar. La medición del tiempo se efectuó desde el inicio del proceso hasta que no quedara producto en el tanque alimentador, siendo la variabilidad mínima entre tratamientos.

El tiempo de UF se alargará dependiendo del tipo de soluto concentrándose en la membrana, ya que los mismos al existir en mayor cantidad aumentan la probabilidad de taponar los poros de la membrana interrumpiendo y disminuyendo el flujo del permeato.

#### 4.2.5 Balance de materiales.

Los balances de materiales muestran la similitud entre ambos tratamientos (Cuadro 7). Se tiene que en promedio ambas aberturas producen una cantidad de retentato y de permeato total de alrededor de 3 y 21 kg, respectivamente. Esto dependerá del tiempo de UF y el VCR que se seleccione. Los rendimientos muestran poca variabilidad en ambos tratamientos. A pesar de que la pérdida fue bastante pequeña, lo que se debe al tipo de ensayo a nivel de laboratorio, los datos obtenidos no son extrapolables al nivel industrial. La pérdida se explica por el ensuciamiento al que se expone la membrana durante todo el proceso, quedándose adherido parte del material concentrado en las fibras de la misma.

Cuadro 7. Balance de materiales de la UF del suero.

A	#	kg totales			Rendimiento (%)		
		Suero	Retentato	Permeato	Retentato	Permeato	Pérdida
5/8	1	25	3.0	21.9	12.0	87.6	0.4
	2	24	2.9	20.5	12.1	85.4	2.5
	3	25	3.7	20.6	14.8	82.4	2.8
	X		3.2	21.0	12.9	85.2	1.9
6/8	1	25	2.7	21.5	10.8	86.0	3.2
	2	25	3.0	21.5	12.0	86.0	2.0
	3	25	3.3	21.2	13.2	84.8	2.0
	X		3.0	21.4	12.0	85.6	2.4

A=abertura; # = corrida

#### 4.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La composición química tanto del suero como de los productos obtenidos, se resume en el Cuadro 8. Se nota que la lactosa, ceniza y sólidos totales se mantienen estables entre pruebas. La constancia de estos componentes a lo largo del proceso, concuerda con Cheryan (1986). El permeato resultó ser el producto más estable, ya que sus componentes químicos no se alteran con la UF; en cambio el retentato fue el que más varió en sus concentraciones de PC y grasa. Esto se debió al efecto de la concentración en la membrana. No se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ), entre cada componente químico, debidas a la abertura de la válvula; por lo cual se concluye que los productos fueron similares. La composición química del concentrado proteico se relaciona con el tiempo de UF, el VCR y la eficiencia del sistema.

Cuadro 8. Promedios de composición química (%) y pH del suero, permeato y retentato.

Abertura	Producto	ST <sup>a</sup>	Cz <sup>b</sup>	PC <sup>c</sup>	Grasa	Lactosa	pH
5/8	Suero	5.94	0.47	0.76	0.27	4.93	6.5
	Permeato	5.05	0.43	0.22	0.00	4.54	6.5
	Retentato	12.63	0.55	4.34	1.75	3.65	6.5
6/8	Suero	5.94	0.47	0.76	0.27	4.93	6.5
	Permeato	5.35	0.48	0.18	0.00	4.78	6.5
	Retentato	13.75	0.62	4.93	1.85	4.60	6.5

<sup>a</sup> Sólidos totales, <sup>b</sup> ceniza, <sup>c</sup> proteína cruda.

#### 4.4 ANÁLISIS DE COSTOS

Se estimaron los costos de ambos productos por medio del Modelo de costos de Lácteos 99. Este modelo hace referencia a los costos variables que en este caso sólo corresponde al suero, y a los costos fijos, en donde entran los costos de mano de obra directa e indirecta, depreciaciones de equipo y mobiliario y distribución del overhead de la institución correspondiente a la Planta de Lácteos. Este modelo parte de la premisa de que ambos productos tendrán un uso potencial como materias primas, de esta forma los costos de depreciación del equipo de UF se distribuyen tanto para el retentato como para el permeato. El tiempo base es de una hora para la mano de obra y otros, y de dos horas para el uso de la membrana, esto se debe a que éste último considera se cuenta el tiempo de lavado del equipo.

Estos costos sumados resultan en un costo total para el retentato de 16 Lps./kg y para el permeato de 2.4 Lps./kg (Anexos 9 y 10). Sin embargo, los costos fijos se deben redistribuir por el hecho de que la escala utilizada es de laboratorio y no se pueden extrapolar para nivel de planta piloto o industrial. Al obtener volúmenes mayores se reducen los costos fijos y el overhead, resultando en costos totales menores para los productos.

## 5. CONCLUSIONES

La pasteurización, tanto en placas como en tandas, fue efectiva en reducir el conteo bacteriano del suero.

Los flujos de alimentación calculados para las dos aberturas de válvula fueron similares (256 y 296 LMH).

No hubo diferencias ( $p < 0.05$ ) en flujo de permeato, incremento de temperatura, presión transmembrana y tiempo de UF entre los flujos de alimentación estudiados.

El rendimiento para el concentrado fue de 12%.

La UF produce un concentrado con alrededor de 5% de proteína cruda se requiere un VCR de alrededor de 8.5.

Los costos de producción, bajo las condiciones del estudio, para el concentrado y permeato fueron de 16 y 2.4 Lps./kg, respectivamente.

## 6. RECOMENDACIONES

Utilizar una válvula de salida para incrementar la presión transmembrana y el flujo de permeato, lo que redundaría en una UF más efectiva.

Utilizar un intercambiador de calor a la salida del retentato para mantener una temperatura constante durante todo el proceso.

Emplear un medidor de flujo a la entrada de la membrana, para determinar experimentalmente el flujo de alimentación.

Evaluar el sistema con volúmenes mayores, previo descremado del suero.

Determinar la calidad microbiológica del retentato y del permeato obtenidos.

Evaluar las propiedades funcionales de la proteína del retentato para recomendar las aplicaciones más adecuadas.

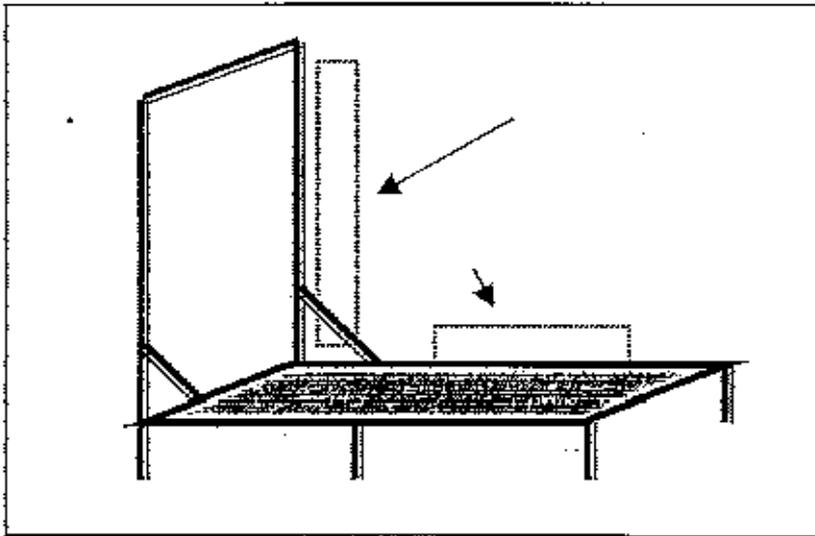
Estudiar la producción de retentato a partir de sueros ácidos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

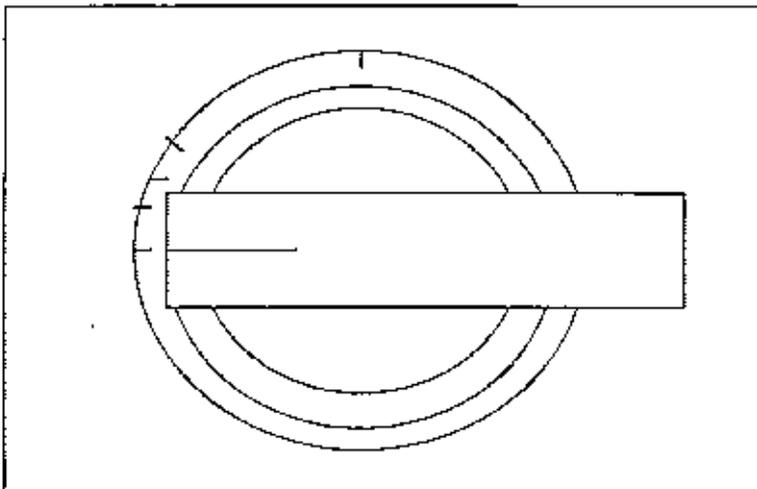
- A/G Technology Co. 1999. *Operating Guide*. 27 p.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis; Association of Official Analytical Chemists*. 15 ed. Va., EE.UU. p. 435-436.
- BYLUND, G. 1996. *Manual de Industrias Lácteas*. Tetra Pak Processing Systems AB. Trad. por Madrid, A.; López, A. Madrid Vicente A. Ediciones. Madrid, España. 436 p.
- CHERYAN, M. 1986. *Ultrafiltration Handbook*. Technomic Publishing Company. Pa., EE.UU. 374 p.
- CHERYAN, M. 1998. *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Technomic Publishing Company. Il., EE.UU. 527 p.
- FENNEMA, O. 1996. *Food Chemistry*. 3 ed. Marcel Dekker. N. Y., EE.UU. 1607 p.
- KOSIKOWSKI, F. 1986. *New Cheese-Making Procedures Utilizing Ultrafiltration*. *Food Technology*, EE. UU. 40 (6): 71-76 y 156.
- MORR, C. V. 1987. *Effect of HTST Pasteurization of Milk, Cheese Whey and Cheese UF Retentate upon the Composition, Physicochemical and Functional Properties of Whey Protein Concentrates*. *Journal of Food Science*. EE.UU. 52 (2): 312-317
- MORR, C. V. 1989. *Whey Protein Manufacture*; in "Developments in Dairy Chemistry-4." Elsevier Applied Science Publishers. N. Y., EE.UU. p. 245-283
- PAL, D., CHERYAN, M. 1987. *Membrane Technology in Dairy Processing Part II; Ultrafiltration*. *Indian Dairyman*. 39 (8): 373-392
- REVELO, M. A. 1998. *Ultrafiltración del Suero de Queso y Evaluación Química y Microbiológica del Concentrado Proteico*. Tesis de Ing. Agr. Zamorano, Honduras. 30 p.
- WEBB, B.; JOHNSON, A.; ALFORD, J. 1983. *Fundamentals of Dairy Chemistry*. 2 ed. The Avi Publishing Company. Conn. EE.UU. 930 p.

## 8. ANEXOS

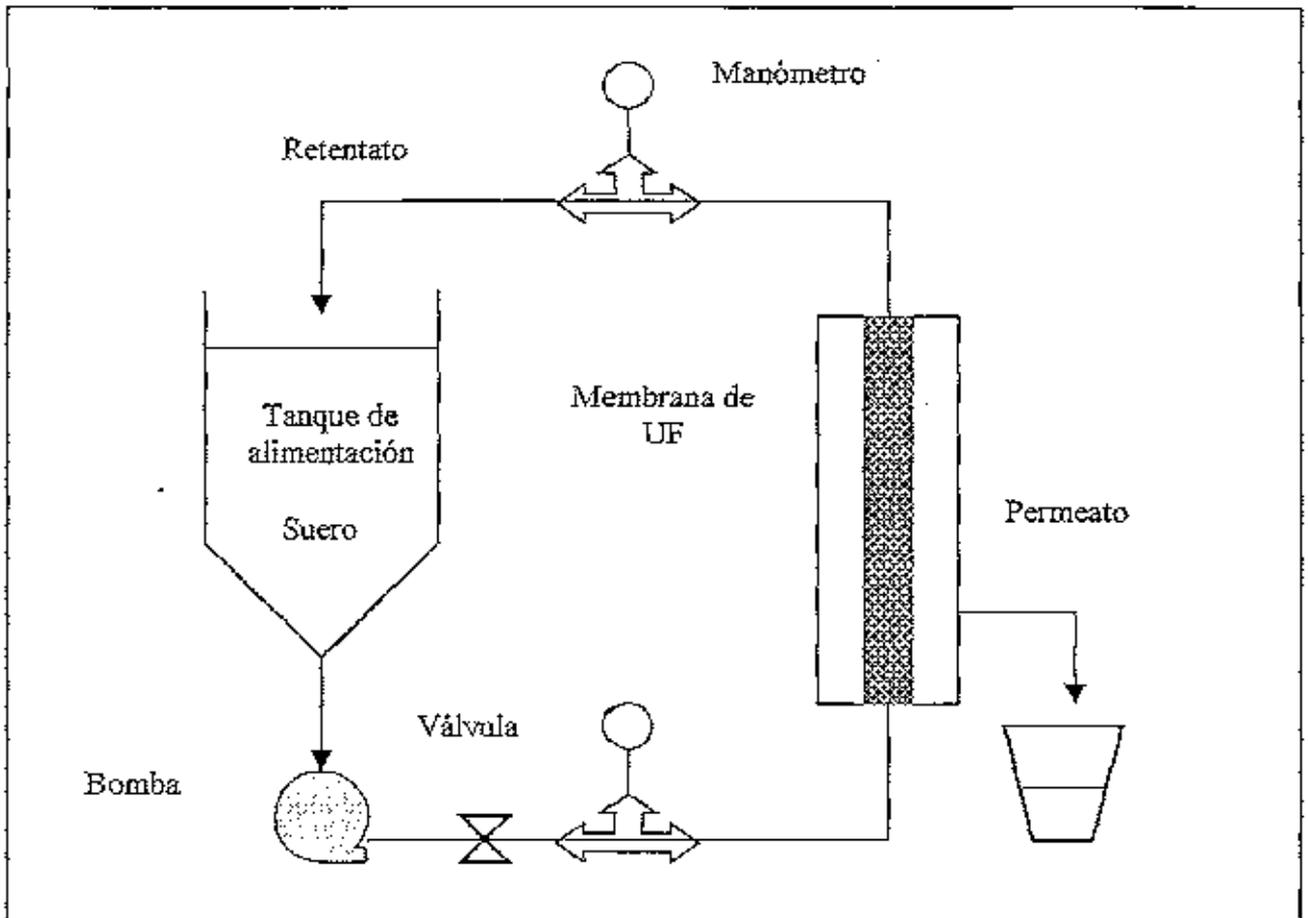
### Anexo 1. Portaequipo de UF portátil



### Anexo 2. Esquema del marcado en la válvula

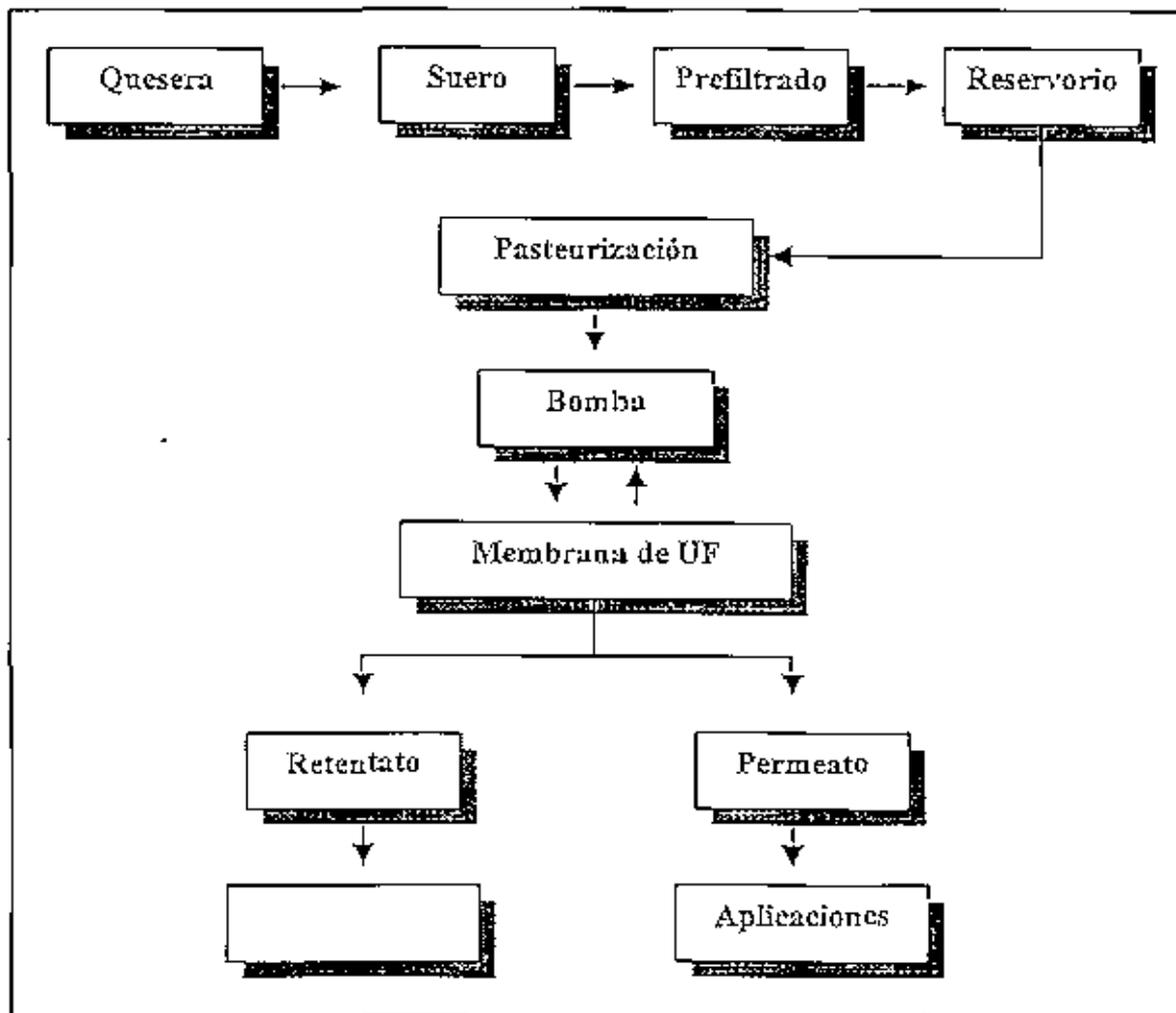


Anexo 3. Esquema del flujo del proceso.



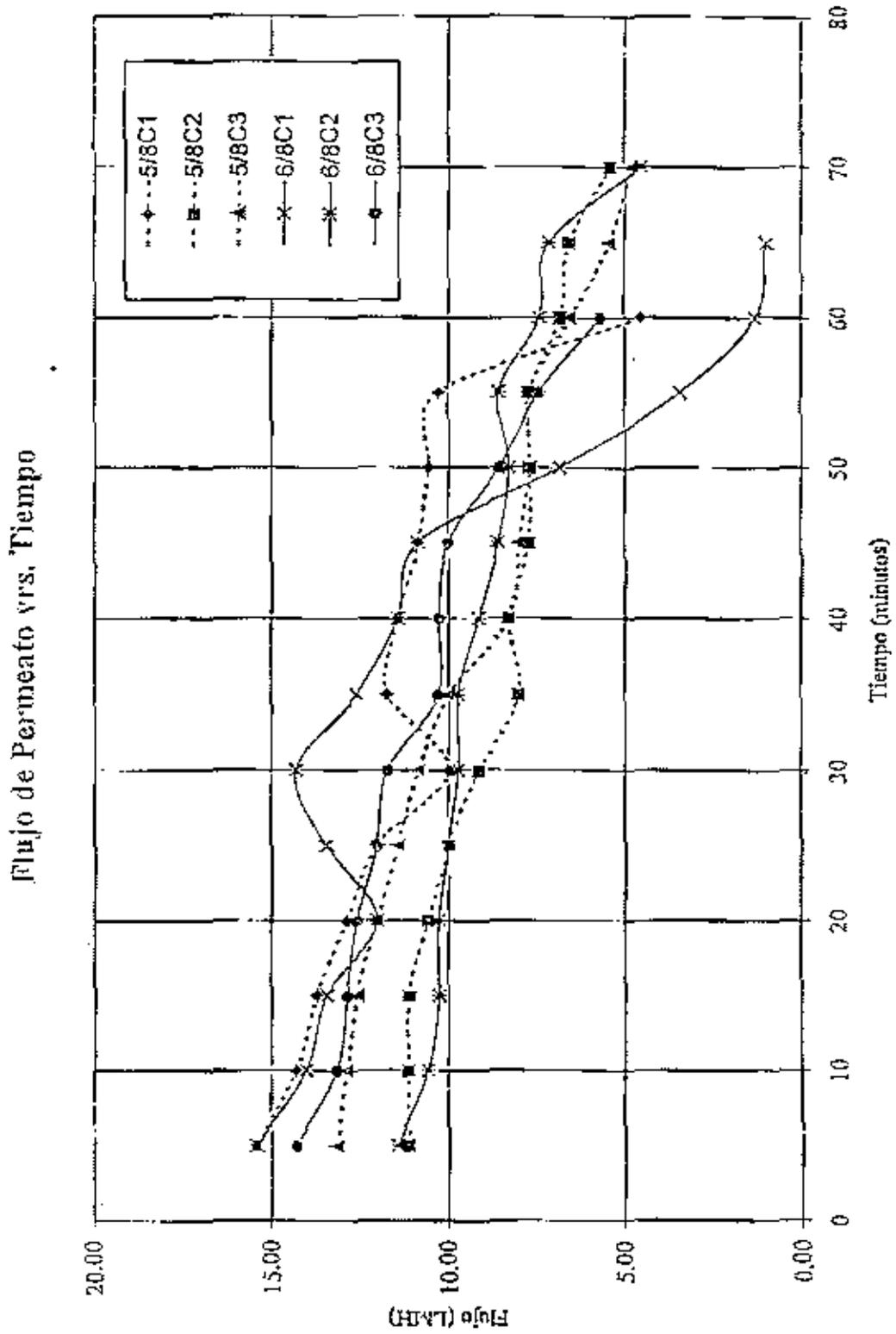


## Anexo 5. Diagrama del flujo de proceso

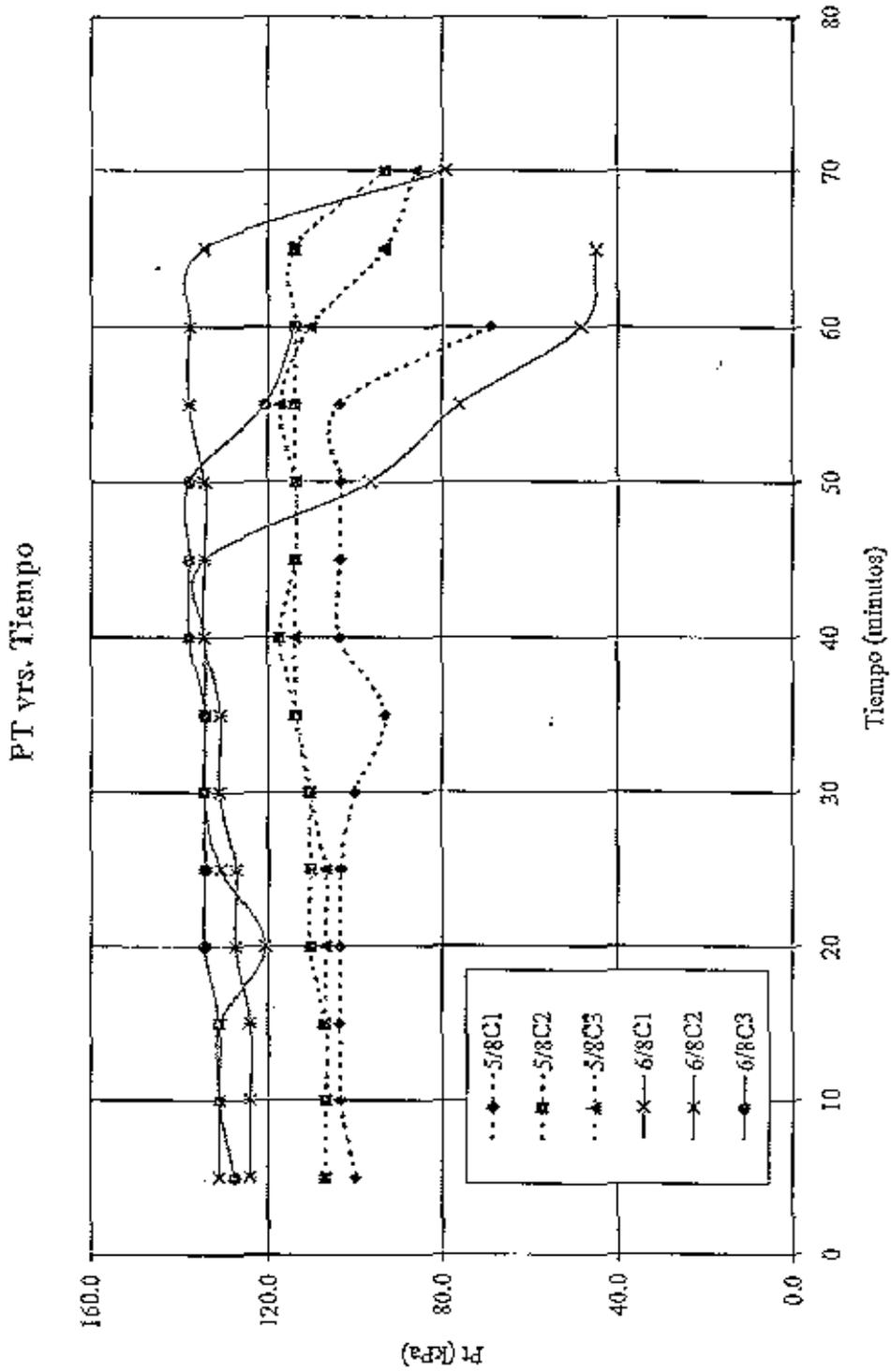




## Anexo 7. Disminución del flujo de permeato en el tiempo de UF.



Anexo 8. Comparación de grupo de presiones transmembrana en el tiempo de UF.



## Anexo 9. Análisis de costos para el retentato.

Zamorano  
Centro de Costo Detallado

Descripción	Unidad	Qty	Valor	Total	Análisis Unitario	Análisis Porcentual
<b>INGRESOS</b>						
RETENTATO	kg	3.00	18.00	54.00		
(-) DEVOLUCIONES	kg	-	-	-		
TOTAL INGRESOS		3.00		<u>54.00</u>	<u>18.00</u>	<u>100%</u>
<b>COSTOS</b>						
COSTOS VARIABLES						
MANO DE OBRA DIRECTA						
PREBENDAS SUELDOS	HORA	1.00	0.09	0.09		
CAPACITACIÓN	HORA	1.00	-	-		
CATORCEAVO	HORA	1.00	1.40	1.40		
PREAVISO	HORA	1.00	0.10	0.10		
CESANTÍA	HORA	1.00	0.63	0.63		
TRICEAVO	HORA	1.00	1.57	1.57		
PLAN DE RETIRO	HORA	1.00	0.07	0.07		
IMPUESTO SOBRE LA RENTA	HORA	1.00	0.22	0.22		
TRANSPORTE	HORA	1.00	0.24	0.24		
SEGURO POR MUERTE	HORA	1.00	0.06	0.06		
FOSOVI	HORA	1.00	0.25	0.25		
MANO DE OBRA INDIRECTA						
DISTRIBUCIÓN OVERHEAD						
TOTAL MANO DE OBRA				<u>5.42</u>	<u>1.81</u>	<u>11.31%</u>
MATERIA PRIMA						
SUERO DE QUESO ZAMORELLA	kg	25.00	0.10	2.50		
TOTAL MATERIA PRIMA				<u>2.50</u>	<u>0.83</u>	<u>5.213%</u>
TOTAL COSTOS VARIABLES				<u>7.92</u>	<u>2.64</u>	<u>16.521%</u>
MARGEN DE CONTRIBUCIÓN				<u>46.08</u>	<u>15.36</u>	
COSTOS FIJOS						
COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES	HORA	1.00	11.23	11.23		
SUMINISTROS DE LIMPIEZA	HORA	1.00	4.52	4.52		
SUMINISTROS Y ACCESORIOS	HORA	1.00	0.28	0.28		
SUMINISTROS MÉDICOS	HORA	1.00	0.17	0.17		
SUMINISTROS DE LABORATORIO	HORA	1.00	0.78	0.78		
MATERIAL DIDÁCTICO	HORA	1.00	0.16	0.16		
HERRAMIENTAS	HORA	1.00	0.04	0.04		
UNIFORMES	HORA	1.00	1.29	1.29		

Descripción	Unidad	Qty	Valor	Total	Análisis Cobertura	Análisis Porcentual
OTROS SUMINISTROS	HORA	1.00	0.22	0.22		
ADICIONES MENORES DE MOBIL.	HORA	1.00	0.49	0.49		
SERVICIO DE LAVANDERIA	HORA	1.00	0.57	0.57		
SERVICIO DE TALLER	HORA	1.00	0.32	0.32		
SERVICIO DE LABORATORIO	HORA	1.00	0.05	0.05		
TELÉFONO	HORA	1.00	0.06	0.06		
MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS	HORA	1.00	0.50	0.50		
MANTENIMIENTO DE MOBILIARIO	HORA	1.00	4.33	4.33		
MANTENIMIENTO DE INSTALAC.	HORA	1.00	0.87	0.87		
VARIOS	HORA	1.00	0.47	0.47		
FLETE Y ACARREO	HORA	1.00	0.10	0.10		
GASTOS DE VIAJE	HORA	1.00	0.14	0.14		
DEPRECIACIÓN DE EDIFICIOS	HORA	1.00	0.09	0.09		
DEPRECIACIÓN DE MOBILIARIO	HORA	1.00	3.92	3.92		
DEPRECIACIÓN DE OTRA MAQ.	HORA	1.00	1.02	1.02		
DEPRECIACIÓN MEJORAS	HORA	1.00	1.05	1.05		
EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN						
MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN	HORA	2.00	0.61	1.21		
BOMBA DE 2 HP Y ACCESORIOS	HORA	2.00	0.22	0.44		
MANÓMETROS	HORA	2.00	0.24	0.48		
ESTRUCTURA DE ACERO	HORA	2.00	0.01	0.02		
TOTAL DE COSTOS FIJOS DE UF				2.15		
TOTAL COSTOS FIJOS				34.84	11.61	72.64%
TOTAL COSTOS VARIABLES Y FIJOS				42.76	14.25	99.17%
UTILIDAD DE OPERACIÓN				11.24	3.75	
GASTOS						
GASTOS ADMINISTRATIVOS						
ADMINISTRACIÓN SECCIÓN		54.00	0.03	1.51		
UNIDAD EMPRESARIAL DE CÁRNICOS Y LÁCTEOS		54.00	0.03	1.62		
ADMINISTRACIÓN ZAMORAÑO		54.00	0.01	0.34		
TOTAL GASTOS ADMINISTRATIVOS				3.67	1.22	8%
GASTOS FINANCIEROS						
INVENTARIO DE MATERIA PRIMA		54.00	0.02	1.08		
INVENTARIO DE PRODUCTO MANUFACTURADO		54.00	0.01	0.44		
TOTAL GASTOS FINANCIEROS				1.52	0.51	3%
TOTAL GASTOS				5.19	1.73	10.8%
TOTAL COSTOS Y GASTOS				47.96	15.99	100%
RETORNO AL CAPITAL Y AL RIESGO				6.04	2.01	
RENTABILIDAD SOBRE VENTAS					11%	
RENTABILIDAD SOBRE COSTOS					13%	
CANTIDAD MÍNIMA DE EQUILIBRIO				2.61		
PRECIO DE EQUILIBRIO				15.99		

## Anexo 10. Análisis de costos para el permeato.

Zamorano  
Centro de Costo Detallado

Descripción	Unidad	Oly	Valor	Total	Análisis Unitario	Análisis Porcentual
<b>INGRESOS</b>						
PERMEATO	kg	21,00	4,00	84,00		
(-) DEVOLUCIONES	kg	-	-	-		
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>21,00</b>		<b>84,00</b>	<b>4,00</b>	<b>100%</b>
<b>COSTOS</b>						
<b>COSTOS VARIABLES</b>						
<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>						
PREBENDAS SUELDOS	HORA	1,00	0,09	0,09		
CAPACITACIÓN	HORA	1,00	-	-		
CATORCEAVO	HORA	1,00	1,40	1,40		
PREAVISO	HORA	1,00	0,10	0,10		
CESANTÍA	HORA	1,00	0,63	0,63		
TRICEAVO	HORA	1,00	1,37	1,37		
PLAN DE RETIRO	HORA	1,00	0,07	0,07		
IMPUESTO SOBRE LA RENTA	HORA	1,00	0,22	0,22		
TRANSPORTE	HORA	1,00	0,24	0,24		
SEGURO POR ACCIDENTE	HORA	1,00	0,06	0,06		
FONOSVI	HORA	1,00	0,25	0,25		
<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>						
<b>DISTRIBUCIÓN OVERHEAD</b>						
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,63</b>	<b>0,22</b>	<b>2,26%</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>						
SUERO DE QUESO ZAMORELLA	kg	25,00	0,10	2,50		
<b>TOTAL MATERIA PRIMA</b>				<b>2,50</b>	<b>0,12</b>	<b>4,995%</b>
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>				<b>7,13</b>	<b>0,34</b>	<b>14,254%</b>
<b>MARGEN DE CONTRIBUCIÓN</b>				<b>76,87</b>	<b>3,66</b>	
<b>COSTOS FIJOS</b>						
COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES	HORA	1,00	11,23	11,23		
SUMINISTROS DE LIMPIEZA	HORA	1,00	4,32	4,32		
SUMINISTROS Y ACCESORIOS	HORA	1,00	0,28	0,28		
SUMINISTROS MÉDICOS	HORA	1,00	0,17	0,17		
SUMINISTROS DE LABORATORIO	HORA	1,00	0,78	0,78		
MATERIAL DIDÁCTICO	HORA	1,00	0,16	0,16		
HERRAMIENTAS	HORA	1,00	0,04	0,04		
UNIFORMES	HORA	1,00	1,29	1,29		

Descripción	Unidad	Qty	Valor	Total	Análisis Unitario	Análisis Porcentual
OTROS SUMINISTROS	HORA	1.00	0.22	0.22		
ADICIONES MENORES DE MOBIL.	HORA	1.00	0.49	0.49		
SERVICIO DE LAVANDERIA	HORA	1.00	0.57	0.57		
SERVICIO DE TALLER	HORA	1.00	0.32	0.32		
SERVICIO DE LABORATORIO	HORA	1.00	0.05	0.05		
TELÉFONO	HORA	1.00	0.06	0.06		
MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS	HORA	1.00	0.50	0.50		
MANTENIMIENTO DE MOBILIARIO	HORA	1.00	4.33	4.33		
MANTENIMIENTO DE INSTALAC.	HORA	1.00	0.87	0.87		
VARIOS	HORA	1.00	0.47	0.47		
FLIETE Y ACARREO	HORA	1.00	0.10	0.10		
GASTOS DE VIAJE	HORA	1.00	0.14	0.14		
DEPRECIACIÓN DE EDIFICIOS	HORA	1.00	0.09	0.09		
DEPRECIACIÓN DE MOBILIARIO	HORA	1.00	3.92	3.92		
DEPRECIACIÓN DE OTRA MAQ.	HORA	1.00	1.02	1.02		
DEPRECIACIÓN MEJORAS	HORA	1.00	1.05	1.05		
EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN						
MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN	HORA	2.00	0.61	1.21		
BOMBA DE 2 HP Y ACCESORIOS	HORA	2.00	0.22	0.44		
MANÓMETROS	HORA	2.00	0.24	0.48		
ESTRUCTURA DE ACERO	HORA	2.00	0.01	0.02		
TOTAL DE COSTOS FIJOS DE UF				2.15		
TOTAL COSTOS FIJOS				34.84	1.66	69.60%
TOTAL COSTOS VARIABLES Y FIJOS				41.97	2.00	83.50%
UTILIDAD DE OPERACIÓN				42.03	2.00	
GASTOS ADMINISTRATIVOS						
ADMINISTRACIÓN SECCIÓN		84.00	0.03	2.35		
UNIDAD EMPRESARIAL DE CÁRNICOS Y LÁCTEOS		84.00	0.03	2.52		
ADMINISTRACIÓN ZAMORANO		84.00	0.01	0.84		
TOTAL GASTOS ADMINISTRATIVOS				5.71	0.27	11%
GASTOS FINANCIEROS						
INVENTARIO DE MATERIA PRIMA		84.00	0.02	1.68		
INVENTARIO DE PRODUCTO MANUFACTURADO		84.00	0.01	0.69		
TOTAL GASTOS FINANCIEROS				2.37	0.11	5%
TOTAL GASTOS				8.08	0.38	16.1%
TOTAL COSTOS Y GASTOS				50.05	2.38	100%
RETORNO AL CAPITAL Y AL RIESGO				33.95	1.62	
RENTABILIDAD SOBRE VENTAS				40%		
RENTABILIDAD SOBRE COSTOS				68%		
CANTIDAD MÍNIMA DE EQUILIBRIO				11.73		
PRECIO DE EQUILIBRIO				2.38		