



Instituto Politécnico Nacional

Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

“Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta para el reuso del mismo”



Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada
UNIDAD TLAXCALA



**ESTUDIO DEL SUERO DE QUESO DE LECHE DE
VACA Y PROPUESTA PARA EL REUSO DEL
MISMO**

**TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
TECNOLOGIA AVANZADA**

**Presenta:
ING. OGILVER TENIZA GARCIA**

**Director de tesis:
Dra. María Myrna Solís Oba**

**Codirector:
Dr. Marlon Rojas López**

**Tlaxcala, México
Marzo, 2008**

Agradecimientos

Agradezco a la persona que contribuyo de manera directa para la realización de este proyecto y sobre todo en mi superación profesional y que siempre se preocupa por el bienestar de sus alumnos. Gracias por todo ese apoyo **Myrna**.

A las Sras. **Herlinda, Irma, Martha y Luisa Bautista Manuel**, Propietarias de la Empresa productora de quesos por su apoyo en la realización de las pruebas a nivel piloto en su empresa.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología **CONACyT** por agraciarme con la distinción de ser becario con el registro número 203575 en los años 2006-2007.

A todos mis maestros gracias por guiarme en este nuevo camino de la investigación.

A mis compañeros y amigos les agradezco su paciencia, confianza y amistad.

Dedicatoria

A **Dios** por acompañarme en todo momento aun en los más difíciles de mi existencia. Gracias Dios mío.

Al amor de mi vida **Anabel**, por ayudarme, comprenderme y apoyarme siempre y en todo momento y además por darme unos niños tan preciosos con son: **Jocsan, Jocelyn y Estela**. Gracias por todo Bonita

A mis padres **Teobaldo y Estela** por esa enseñanza para valorar las cosas y luchar por ellas siempre y en todo momento. Gracias los quiero mucho.

A mis hermanos triunfadores todos **Emma, Cristóbal, Nereo y Asenet**. Mil disculpas a cada uno de ustedes y gracias por tenerlos como familia, los quiero mucho.

A mi cuñado Armando, a mis cuñadas Rita y Evelyn Gracias por brindarme su amistad y confianza, que dios los cuide mucho y guie por buen camino.

A mis sobrinos **Alicia, Kimberly, Nery Emanuel, Christopher Jesús**, que dios me de vida para verlos unos triunfadores, y siempre contarán con mi apoyo gracias a dios por tenerlos en el seno familiar son la esperanza y la alegría de la familia Teniza García.

A la familia Flores Mejía por su confianza y esa amistad invaluable gracias **Isaac, Isabel, Isaac jr, Isabel jr, Joana, Lucero, Constantino, Carolina y Cesar**.

MARZO, 2008

Índice

Índice.....	1
Glosario.....	6
Glosario de términos económicos.....	10
Lista de abreviaturas	11
Lista de figuras.....	12
Lista de tablas	13
Resumen	15
Abstract.....	17
1. Introducción	19
2. Antecedentes	21
2.1 Leche.....	22
2.1.1 Componentes de la leche	23
2.1.1.1 Proteínas.....	23
- Caseína	24
- Albúminas.....	25
- Globulinas	26
- Proteosas-peptona.....	27
- Lactoferrina	27
2.1.1.2 Azúcares de la leche	28
2.1.1.3 Lípidos de la leche	28
2.1.1.4 Sales minerales de la leche.....	29
2.1.1.5 Vitaminas de la leche	29
2.1.2 Clasificación de las leches procesadas	30

2.1.2.1 Leche Pasteurizada	30
2.1.2.2 Leche Esterilizada.	30
2.1.2.3 Leche Descremada.....	31
2.1.2.4 Leche Homogeneizada.....	32
2.1.2.5 Leche Evaporada.....	32
2.1.2.6 Leche Condensada Azucarada	32
2.1.2.7 Leche en polvo	33
2.2 Productos lácteos.	33
2.2.1 Productos lácteos derivados por Fermentación	34
2.2.1.1 Yogurt.....	34
2.2.1.2 Quesos	35
- Quesos frescos	35
- Queso tipo Oaxaca.....	36
2.3 Suero de queso.	36
- Proteínas de suero.....	37
2.3.1 Procedimiento para la recuperación de proteínas de suero.	40
2.3.1.1 Microfiltración.....	41
2.3.1.2 Ultrafiltración.	42
2.3.1.3 Nanofiltración	42
2.3.1.4 Ósmosis reversa.	43
2.3.2 Secado del concentrado de proteínas.....	45
2.3.3 Usos potenciales del suero	46
2.3.3.1 Queso ricota (conocido en México como requesón)	47
2.3.3.2 Bebidas a partir del lactosuero.....	48
2.3.3.3 Suero de queso en polvo.....	48

2.4 Espectroscopia FTIR.....	50
Justificación.....	51
Hipótesis	53
Objetivos	53
Objetivo General.....	53
Objetivos Específicos	53
3. Materiales y Métodos	54
3.1 Caracterización fisicoquímica del suero.....	55
3.2 Obtención de suero concentrado de la empresa productora de quesos.....	55
3.2.1 Pasteurización del suero.	56
3.2.2 Microfiltración del suero.....	56
3.2.3 Ultrafiltración a nivel laboratorio.	56
3.2.4 Ultrafiltrado a nivel planta piloto.....	57
3.2.5 Nanofiltración a nivel planta piloto.....	58
3.3 Obtención de suero deshidratado de la empresa productora de quesos.....	58
3.4 Mediciones por espectroscopia infrarroja ATR-FTIR.....	59
3.5 Formulación de productos con suero concentrado de la empresa productora de quesos.	60
3.5.1 Formulación de queso tipo Oaxaca con la adición de suero concentrado y leche fresca.	60
- Prueba organoléptica del queso formulado con adición de suero concentrado.....	61
3.5.2 Formulación de queso tipo Oaxaca con suero en polvo y leche fresca.....	61
- Prueba organoléptica del queso formulado con adición de suero en polvo y leche fresca.	62
3.5.3 Formulación de una bebida a base de suero de quesería.....	62
- Prueba organoléptica de la bebida formulada con suero y sabor artificial. ..	62

3.6 Análisis de la DQO	63
3.7 Análisis de factibilidad técnica y económica.....	63
4. Resultados y Discusión	64
4.1 Caracterización fisicoquímica del suero.....	64
4.2 Obtención de suero concentrado proveniente de la empresa productora de quesos.....	66
4.2.1 Ultrafiltración.....	66
4.2.1.1 Ultrafiltración a nivel laboratorio.	66
4.2.1.2 Ultrafiltración a nivel planta piloto.....	71
- Análisis de proteínas y lactosa por FTIR	74
- Análisis de la DBO ₅ y DQO en la Ultrafiltración.....	75
4.2.2 Nanofiltración a nivel piloto.	76
- Análisis de la DBO ₅ y DQO en la Nanofiltración	77
4.3 Obtención de suero deshidratado.	77
4.3.1 Secado del suero concentrado a nivel industrial.	78
4.3.2 Secado del permeado de suero de la ultrafiltración a nivel laboratorio.....	83
4.4 Uso del suero concentrado y del suero en polvo.....	85
4.4.1 Uso del suero concentrado para la formulación de queso tipo Oaxaca. ...	85
4.4.1.1 Formulación de queso usando suero concentrado con 8.66% de sólidos.....	86
4.4.1.2 Formulación de queso usando suero concentrado con 9.89% de sólidos.....	87
4.4.1.3 Formulación de queso usando suero concentrado con 9.60% de sólidos.....	90
4.4.1.4 Formulación de queso usando suero concentrado con 8.56% de sólidos.....	92
4.4.1.5 Formulación de queso usando suero concentrado con 8.56% de sólidos.....	94

- Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca formulado con suero concentrado y leche fresca	98
- Prueba de hipótesis nula y alterna por distribución χ^2	99
- Análisis económico del uso de suero concentrado en la elaboración de queso.....	99
4.4.2 Uso del suero en polvo para la formulación de queso tipo Oaxaca en sustitución de leche en polvo.	100
4.4.2.1 Formulación de queso usando leche fresca y leche en polvo.....	100
4.4.2.2 Formulación de queso usando suero en polvo con un contenido de proteína de 47.32% y leche fresca.	101
- Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca formulado con suero en polvo y leche fresca	101
- Prueba de hipótesis nula y alterna por distribución χ^2	103
- Análisis económico del uso de suero en polvo.	104
4.4.3 Uso del suero para la elaboración de una bebida.....	105
- Prueba organoléptica de la bebida formulada con suero de queso y sabor artificial	106
- Análisis económico del uso de suero para elaborar bebida.....	106
Conclusiones.....	109
Recomendaciones y sugerencias para trabajo futuro	110
Referencias	111
Lista de anexos 1	118
Lista de anexos 2	128
Lista de anexos 3	129

Glosario

Acido graso saturado.

Los ácidos grasos saturados son aquellos con la cadena hidrocarbonada repleta de átomos de hidrógeno, por lo tanto no tienen ningún enlace doble en su estructura. Los ácidos grasos saturados son más comunes en los animales.

Acido graso insaturado.

Los ácidos grasos insaturados son ácidos carboxílicos de cadena larga con uno o varios dobles enlaces entre los átomos de carbono. Están presentes en algunas grasas vegetales (por ejemplo el aceite de oliva o de girasol) y en la grasas de los pescados azules.

Albúmina.

La albúmina es la proteína más abundante en el ser humano. La concentración normal de albúmina en la sangre humana oscila entre 3.5 y 5.0 gramos por decilitro.

Aminoácido esencial.

No pueden ser fabricados por el organismo y deben ser aportados en la dieta o en caso contrario pueden producir trastornos en la salud. Entre éstos se encuentran: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina.

Aminoácido no esencial.

Son también imprescindibles para la salud pero pueden ser sintetizados en el cuerpo mediante los aminoácidos esenciales.

Antioxidante.

Es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas.

Calostro.

Es un líquido segregado por las glándulas mamarias durante el embarazo y los primeros días del parto, compuesto principalmente por sustancias inmunológicas, leucocitos, agua, proteínas, grasas y carbohidratos en un líquido seroso y amarillo.

Caseína.

Fosfoproteína predominante de la leche y el queso.

Catabolismo.

Es la parte del metabolismo que consiste en la transformación de moléculas orgánicas o biomoléculas complejas en moléculas sencillas y en el almacenamiento de la energía química desprendida en forma de enlaces de fosfato y de moléculas de ATP, mediante la destrucción de las moléculas que contienen gran cantidad de energía en los enlaces covalentes que la forman, en reacciones químicas exotérmicas.

DBO₅

Se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (oxidación) de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aeróbico. La demanda bioquímica de oxígeno representa indirectamente una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua.

DQO

Se denomina Demanda Química de Oxígeno, es una medida de la materia carbonosa contenida en los diferentes tipos de materia orgánica presentes en las aguas residuales. Se usa como un indicador del poder contaminante de un agua dada.

Electrodiálisis.

Es el proceso de desionización del agua en el que, bajo la influencia de un campo eléctrico, los iones son eliminados de una masa de agua y transferidos a otra a través de una membrana intercambiadora de iones.

Glicoproteína.

Las glicoproteínas o glucoproteínas son moléculas compuestas por una proteína unida a uno o varios hidratos de carbono, simples o compuestos.

Globulina.

Son un grupo de proteínas insolubles en agua que se encuentran en todos los animales y vegetales.

Índice de Reichert-Meissl.

Representa el volumen de álcali necesario para neutralizar los ácidos grasos volátiles solubles en agua (principalmente caproico) provenientes de una muestra de lípido, al emplear el método respectivo.

Inmunoglobulina.

Son proteínas que forman parte del sistema de defensa contra microorganismos.

Lactoferrina.

Es una proteína globular (80 kDa) perteneciente a la familia de las transferrinas (transferrina, ovotransferrina, melanotransferrina, etc). Este grupo de proteínas muestra una gran afinidad por iones hierro.

Lactosuero.

Se denomina lactosuero al líquido remanente tras la precipitación y separación de la caseína de la leche durante la elaboración del queso.

Macromolécula

El término macromolécula se refiere a las moléculas que con más de 10,000 daltons de masa atómica. Pueden ser tanto orgánicas como inorgánicas, y se encuentran algunas de gran relevancia en el campo de la bioquímica, al estudiar las biomoléculas.

Micela

Es un gel hidratante permeable, con $\frac{2}{3}$ de agua y $\frac{1}{3}$ de caseína.

Microfiltración.

Este tipo de operación de filtración puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de agua cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a 0.1 mm.

Nanofiltración.

Es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular (1,000 daltons) son retenidos, pero las sales pasan con el filtrado total o parcialmente, a través de la membrana.

Pardeamiento químico o no enzimático.

Se produce como consecuencia de someter la leche a los procesos de pasteurización, concentración y deshidratación, manifestándose más marcado el fenómeno durante el almacenamiento. Esto ocurre por degradación del ácido ascórbico.

Pasteurización.

Es el proceso térmico realizado a líquidos (generalmente alimentos) con el objeto de reducir los agentes patógenos que puedan contener, tales como bacterias, protozoos, mohos y levaduras.

Permeado de la leche

Es la fracción que pasa por la membrana de filtración.

Proteína.

Son moléculas de gran tamaño; pertenecen a la categoría de macromoléculas, constituidas por gran número de unidades estructurales, las proteínas son macromoléculas formadas por aminoácidos.

Proteosas – peptona.

Constituyen una fracción compleja formada por una mezcla heterogénea de polipéptidos que permanecen solubles después del calentamiento de la leche a 95°C durante 20-30 minutos seguido de una acidificación a pH 4.6. Tienen alta estabilidad térmica.

Retentado

Es la fracción que se retiene en la membrana de filtración.

Reacción de Maillard.

Se trata de una serie de reacciones complejas debida a la reacción de grupos amino libres, como aminas, aminoácidos, péptidos y proteínas con compuestos carbonilo, particularmente azúcares reductores, los productos de la reacción pueden ser responsables del aroma, el gusto y la apariencia de los alimentos, provee colores que van desde amarillo a café.

Saponificación.

Es una reacción química entre un ácido graso (o un lípido saponificable, portador de residuos de ácidos grasos) y una base o álcali, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido y la base.

Ultrafiltración.

Para la eliminación completa de los virus, se requiere la ultrafiltración. Los poros de las membranas de ultrafiltración pueden retirar de los fluidos partículas de 0.001 – 0.1 μm .

Valor Biológico.

Es una medida de la calidad de una proteína que indica el porcentaje de la proteína absorbida que es retenida en el organismo. Los valores varían entre 0 y 100.

Vitamina.

Son compuestos heterogéneos que no pueden ser sintetizados por el organismo, por lo que éste no puede obtenerlos más que a través de la ingestión directa. Las vitaminas son nutrientes esenciales, imprescindibles para la vida.

Glosario de términos económicos

Empresa

Unidad productora de bienes y servicios homogéneos para lo cual organiza y combina el uso de factores de la producción. Organización existente con medios propios y adecuados para alcanzar un fin económico determinado.

Estudio de factibilidad.

Sirve para recopilar datos relevantes sobre el desarrollo de un proyecto y con base en ello tomar la mejor decisión, si procede su desarrollo o implementación. Dentro de los objetivos del estudio de factibilidad se encuentran: 1.- Ayudar a la organización a lograr sus objetivos, 2.- Cubrir las metas con sus recursos actuales. En las áreas de: a) factibilidad técnica cubriendo los puntos de mejora al sistema y disponibilidad de tecnología que satisfaga las necesidades; b) factibilidad económica considerando los costos de estudio, tiempo del personal, de desarrollo y adquisición y c) factibilidad operativa que involucra la operación garantizada y el uso garantizado.

Estudio técnico.

Sirve para hacer un análisis del proceso de producción de un bien o la prestación de un servicio. Incluye aspectos como: materias primas, mano de obra, maquinaria necesaria, plan de manufactura, inversión requerida, tamaño y localización de las instalaciones, forma en que se organizará la empresa y costos de inversión y operación.

Importaciones

Compra de un bien o servicio producido en el resto del mundo por parte de residentes de un país. Conjunto de bienes y servicios adquiridos al extranjero e introducidos en un país dirigidos al consumo o a la reelaboración.

Inversión

Aplicación de recursos financieros destinados a incrementar activos fijos o financieros de una entidad, por ej. maquinaria, equipo, obras públicas, bonos, títulos, valores.

Mercado

Conjunto de transacciones que se realizan entre los compradores y vendedores de un bien o servicio.

Producción

Proceso por medio del cual se crean los bienes y servicios económicos. Es la actividad principal de cualquier sistema económico que está organizado precisamente para producir, distribuir y consumir los bienes y servicios necesarios para la satisfacción de las necesidades humanas.

Tasa interna de retorno.

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero.

Lista de abreviaturas

°C Grados Celsius.

DBO. Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO. Demanda Química de Oxígeno.

et al. Colaboradores.

g. Gramo.

in. Pulgada.

Kg. Kilogramo.

KDa. Kilodaltons.

L. Litro.

Lb. Libra.

Lpm. Litros por minuto.

mL. Mililitros.

rpm. Revoluciones por minuto.

s. Segundo.

UFC. Unidades Formadoras de Colônias.

% V. Por ciento en volumen.

% W. Por ciento en peso.

Lista de figuras

Figura	Página
<i>Figura 1. Estructura de los aminoácidos esenciales y no esenciales (Cox y Lehninger, 2006).....</i>	21
<i>Figura 2. Diferentes tipos de filtración y concentración del suero de queso.</i>	40
<i>Figura 3. Procesos de separación de los diferentes componentes del suero de queso (Ibérica, 2006).....</i>	41
<i>Figura 4. Retención de partículas coloidales por microfiltración (Niro, 2008).</i>	41
<i>Figura 5. Retención de proteínas por ultrafiltración (Niro, 2008).....</i>	42
<i>Figura 6. Retención de azúcares y aminoácidos por nanofiltración (Niro, 2008).....</i>	43
<i>Figura 7. Retención de sales monovalentes por ósmosis reversa (Niro, 2008).....</i>	43
<i>Figura 8. Fraccionamiento del suero del queso.....</i>	45
<i>Figura 9. Usos del suero de queso.....</i>	47
<i>Figura 10. Analizador de lácteos Milkoscan S-54B.....</i>	55
<i>Figura 11. Equipo de Ultrafiltración, de alto rendimiento con agitación del tipo TFF de Millipore.....</i>	57
<i>Figura 12. Equipo de Ultrafiltración a nivel planta piloto “Niro”.</i>	57
<i>Figura 13. Equipo de Nanofiltración a nivel planta piloto “CETA”.....</i>	58
<i>Figura 14. Secador por aspersión Spray dryer “Galaxi Argentina”.....</i>	58
<i>Figura 15. Espectrómetro Infrarrojo de Transformada Rápida de Fourier (FTIR) marca BRUKER modelo VERTEX 70.....</i>	59
<i>Figura 16. Concentración del suero a nivel laboratorio (Ultrafiltración).....</i>	69
<i>Figura 17. Comportamiento de la ultrafiltración a nivel piloto llevada a cabo en Universidad Iberoamericana campus Puebla.....</i>	72
<i>Figura 18. Correlación FTIR de las soluciones de lactosa a diferentes concentraciones.</i>	74
<i>Figura 19. Espectros del suero en polvo de la empresa productora de quesos, Comercializadora Veyco, ProWinner y Universidad Iberoamericana.....</i>	82
<i>Figura 20. Espectros de leches en polvo comerciales vs suero en polvo de la empresa productora de quesos.....</i>	83
<i>Figura 21. Espectros de la lactosa en polvo de la empresa productora de quesos, suero de Comercializadora Veyco y suero de la Universidad Iberoamericana campus Puebla.</i>	84
<i>Figura 22. Porcentajes de suero concentrado adicionados y rendimientos obtenidos usando suero concentrado.....</i>	97
<i>Figura 23. Fluctuación anual del precio del suero dulce.....</i>	104

Lista de tablas

Tabla	Página
<i>Tabla 1. Valores medios aproximados de la composición de la leche, según las siguientes especies (Malacarne et al., 2002; Wiking et al., 2003).</i>	23
<i>Tabla 2. Composición proteica de las leches de vaca y humana (Revilla, 1996).</i>	24
<i>Tabla 3. Propiedades de las inmunoglobulinas (Mehra et al., 2006).</i>	26
<i>Tabla 4. Contenido de Inmunoglobulinas en g/L (Mehra et al., 2006).</i>	27
<i>Tabla 5. Composición porcentual de la fracción lipóide (Meyer et al., 1990).</i>	28
<i>Tabla 6. Clasificación de las leches de acuerdo al procesamiento.</i>	30
<i>Tabla 7. Características de la pasteurización y esterilización.</i>	31
<i>Tabla 8. Composición química entre la leche entera y la leche descremada.</i>	31
<i>Tabla 9. Composición de la leche en polvo entera.</i>	33
<i>Tabla 10. Productos y subproductos de la leche.</i>	33
<i>Tabla 11. Composición del suero de queserías (Armstrong, 1986).</i>	38
<i>Tabla 12. Características físico-químicas de las proteínas séricas (Belitz y Grosch, 1997).</i>	38
<i>Tabla 13. Efecto funcional de las proteínas séricas (Mehra et al., 2006 ; Wakabayashi et al., 2006).</i>	39
<i>Tabla 14. Tamaño de corte de cada proceso de filtración (Harper y Muller, 1979).</i>	44
<i>Tabla 15. Especificaciones del suero de queso en polvo grado alimenticio (Milkaut, 2008).</i>	49
<i>Tabla 16. Especificaciones del suero de queso en polvo grado industrial (Milkaut, 2008).</i>	49
<i>Tabla 17. Formulaciones probadas para la incorporación de suero concentrado en la elaboración de queso tipo Oaxaca.</i>	61
<i>Tabla 18. Formulaciones experimentales para la incorporación de suero en polvo en la elaboración de queso tipo Oaxaca.</i>	62
<i>Tabla 19. Caracterización físico-química del suero.</i>	65
<i>Tabla 20. Resultados de las características físico-químicas del suero procesado en la Ultrafiltración.</i>	67
<i>Tabla 21. Condiciones de operación de la ultrafiltración a nivel laboratorio.</i>	70
<i>Tabla 22. Análisis de suero Ultrafiltrado en equipo piloto propiedad de Universidad Iberoamericana Campus Puebla.</i>	71
<i>Tabla 23. Condiciones de operación de la ultrafiltración a nivel piloto.</i>	73
<i>Tabla 24. Análisis de DQO de suero Ultrafiltrado (Inda, 2000).</i>	75
<i>Tabla 25. Parámetros permisibles de sólidos suspendidos totales y DBO₅ en las aguas residuales de descarga en aguas y bienes nacionales según la NOM-001 ECOL-1996.</i>	76
<i>Tabla 26. Análisis de DQO después de la Nanofiltración.</i>	77
<i>Tabla 27. Tabla de especificaciones del suero dulce de queso en polvo comercializado mundialmente (Lechería latina, 2008).</i>	79
<i>Tabla 28. Comparación de sueros en cuanto a su composición porcentual.</i>	80
<i>Tabla 29. Evaluación proteica de concentrado de proteínas de la empresa productora de quesos vs sueros comerciales de la región de Tlaxcala y Puebla.</i>	81
<i>Tabla 30. Caracterización Físico-química de la leche.</i>	85

<i>Tabla 31. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca primera formulación.</i>	86
<i>Tabla 32. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca segunda formulación.</i>	87
<i>Tabla 33. Caracterización fisicoquímica del suero de la primera formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.</i>	88
<i>Tabla 34. Caracterización fisicoquímica del suero de la segunda formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.</i>	89
<i>Tabla 35. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca tercera formulación.</i>	90
<i>Tabla 36. Caracterización fisicoquímica del suero de la tercera formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.</i>	91
<i>Tabla 37. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca cuarta formulación.</i>	92
<i>Tabla 38. Caracterización fisicoquímica del suero de la cuarta formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.</i>	93
<i>Tabla 39. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca quinta formulación.</i>	94
<i>Tabla 40. Caracterización fisicoquímica del suero de la quinta formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.</i>	95
<i>Tabla 41. Porcentajes de suero adicionados y rendimientos obtenidos usando suero concentrado.</i>	96
<i>Tabla 42. Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca, elaborado con suero concentrado y leche fresca.</i>	98
<i>Tabla 43. Análisis de la desviación estándar en la prueba de hipótesis para la aceptabilidad de los quesos, con suero concentrado.</i>	99
<i>Tabla 44. Cantidad de leche en polvo y leche fresca para elaborar queso Oaxaca.</i>	101
<i>Tabla 45. Cantidades de suero en polvo y leche fresca para elaborar queso Oaxaca.</i>	101
<i>Tabla 46. Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca, elaborado con suero concentrado y leche fresca.</i>	102
<i>Tabla 47. Caracterización del suero proveniente de la formulación de queso usando leche fresca y suero en polvo, y formulación con leche en polvo para la elaboración de queso tipo Oaxaca.</i>	103
<i>Tabla 48. Análisis de la desviación estándar en la prueba de hipótesis para la aceptabilidad de los quesos, con suero en polvo.</i>	104
<i>Tabla 49. Resumen de los gastos mensuales supuestos de acuerdo a información de la empresa productora de quesos.</i>	105

Resumen

El suero de queso de leche de vaca es un subproducto que se obtiene de la elaboración de los diversos tipos de queso. En promedio al procesar un litro de leche se obtiene 90 % de suero y el 10% de queso. Durante el proceso para la fabricación de queso se coagulan algunas proteínas y parte de la grasa natural de la leche. Sin embargo, en el suero permanece casi el 50 % de las proteínas, aminoácidos, vitaminas y minerales de la leche.

La caracterización inicial del suero arrojó que éste contiene 0.11 % de grasa, 1.26 % de proteína, 5.48 % lactosa, 0.72 % de minerales y vitaminas, el 7.57 % de sólidos totales y 92.43 % de humedad. Donde los componentes que destacan por su valor nutrimental son las proteínas y la lactosa, mismas que están en el suero en cantidades suficientes para justificar el presente trabajo.

En la presente tesis se realizó el estudio del suero proveniente de la elaboración de diversos tipos de queso: Oaxaca, panela, ranchero y aro y se evaluaron y ensayaron algunas aplicaciones del mismo, en la elaboración de productos diversos que no cambiaran drásticamente el giro de una empresa de lácteos, los usos fueron: la obtención de suero concentrado líquido y en forma de polvo, su adición para la elaboración de queso tipo Oaxaca y el uso de suero líquido y deshidratado para elaborar una bebida con saborizante artificial. Los sueros concentrado y deshidratado se obtuvieron considerando primeramente una unidad de ultrafiltración para recuperar las proteínas, una unidad de nanofiltración para recuperar la lactosa y disminuir la DQO casi en el límite permisible de la normatividad mexicana para descargas a cuerpos de agua, y finalmente un secado por aspersion para el deshidratado de los productos.

Se encontró experimentalmente que se puede adicionar hasta un 8 a 10 % de suero concentrado durante la elaboración de queso tipo Oaxaca, con ello se incrementó en el rendimiento de 1% comparado con emplear 100 % leche fresca y el producto que se obtiene es con las mismas propiedades de sabor y textura que utilizando únicamente leche. Se requiere adicionar solo el 0.5 % de suero deshidratado comparado con la adición del 1 % leche en polvo que comúnmente se utiliza en la empresa para elaborar queso tipo Oaxaca, en este caso el rendimiento fue del 13.07 % comparado con el 11.75 % que usualmente se obtiene en la empresa cuando utilizan leche en polvo. El producto obtenido con la adición de éste porcentaje de suero en polvo también presentó características de sabor y textura similares al obtenido con el uso de la leche sin suero.

Por otro lado, se encontraron las condiciones para obtener un suero deshidratado con un alto contenido de proteína cercano al 47 % y con bajo contenido de lactosa. Por medio de espectroscopia infrarroja, se comparó este suero deshidratado contra sueros en polvo que se comercializan en México y contra leches en polvo de diferentes marcas, los resultados indicaron que en México los sueros deshidratados que se venden para uso industrial tienen un contenido de proteína del 12 % y un alto contenido de lactosa, mientras que el suero que se importa y se vende en tiendas naturistas como un

concentrado proteínico tiene un 80 % de éstas, por lo que el suero que se obtuvo en la presente investigación podrá comercializarse y competir con los productos existentes en el mercado. Además, el suero deshidratado obtenido durante el desarrollo de la presente presentó mayores niveles proteínicos que algunas leches en polvo económicas y similar a algunas leches en polvo de precio mayor, Por lo que además el suero deshidrato se puede aprovechar en usos industriales en sustitución de la leche en polvo.

Finalmente, el efluente final después del tren de tratamiento y separación de los componentes más importantes del suero nutricional hablando (proteínas y lactosa) tuvo una DQO alrededor de 350 mg/L, comparada con la del suero crudo que es alrededor de 60,000 mg/L. Este efluente final es incoloro e inodoro, por lo que se podría utilizar dentro de la misma empresa para el lavado de la planta, y, previo análisis de toxicidad, para riego de áreas verdes de la empresa.

De la evaluación técnica y económica se determinó que el uso más rentable es la obtención de suero en polvo y usarlo para la sustitución de la leche en polvo para la fabricación de queso en la misma empresa y la venta directa del suero deshidratado que no se utilice en la empresa, previo ajuste con carbohidratos al contenido de proteína del 12 % y 34 % que buscan y adquieren las empresas de alimentos en México.

Abstract

The whey is produced during the manufacture of different kinds of cheese. From one liter of milk it is produced about 90 % of whey and 10 % of cheese. During the cheese manufacture some proteins and some of the fat contained in milk are coagulated. However, about 50 % of the milk proteins and some aminoacids, vitamins and minerals remain in the whey.

For the first physicochemical characterization of whey, it is known that it contains 0.11 % of fat, 1.26 % proteins, 5.48 % lactose, 0.72 % of minerals and vitamins, 7.57 % total solids and 92.43 % of water. The principal components by its nutrition's facts are proteins and lactose, which are in important quantities in the whey to justify this research.

In this research work it was done a study of whey produced during the manufacture of different kinds of cheese: Oaxaca, panela, rancho and aro, it was evaluated and analyzed the application of whey in the manufacture of different products, considering not to change a lot the manufacturing process in the company for which this study was done. The uses tested were: to get concentrated whey in liquid and in powder form; they addition in the manufacturing of Oaxaca cheese and they use to manufacture a beverage with whey and artificial flavor. The concentrated and dehydrated whey were prepared first using an ultrafiltration unit to get the proteins, and then a nanofiltration to get the lactose and diminish the DQO nearly to the limit allowed by the Mexican legislation to discharge wastewater, and finally a spray dryer to dehydrate the products.

During the research it was found that it could be added until 8 to 10 % of concentrated whey during the manufacture of Oaxaca cheese, so the production increase in 1 % compared with using only milk, the product with the addition of whey was similar in taste with the one without whey. It was necessary to add only 0.5 % of whey in powder compared whit the milk in powder that it is added by the company during the manufacturing of Oaxaca cheese; in this case the production of cheese was 13.07 % compared with using only milk (11.75 %). The product done with the adding of whey in powder was similar to that one without milk, similar taste and consistency.

By other side, there were founded the conditions to get whey in powder with a high protein level (nearby to 47 %) and with few lactose. Using infrared spectroscopy the whey produced experimentally was compared with similar commercial products made with whey that are sold in Mexico; and it was compared with some commercial milk in powder too. The results indicate that in Mexico the products of whey in powder contain 12 % proteins average and high levels of lactose, whereas an imported whey product that is sold in some naturist stores like proteins, has 80 % of them; so the whey produced during this research could be sold like the others. And the dehydrated whey here produced shows more protein than some economical milk in power and similar to others that are expensive. So the whey here produced could be use in some industries instead of milk in powder.

Finally, the wastewater after the separation of proteins and lactose had a DQO near to 350 mg/L, compared with the DQO for the initial whey that was around 60,000 mg/L. The final wastewater presented no color and it did not smell, so it could be use to clean the factory and previous toxicity analysis, it could be use in the garden of the company.

From the technical and economic evaluation it was decided that the best use of the whey it to produce whey in power, to use it instead of milk in powder to manufacture cheese and to sell the remainder, previously adjusting the proteins concentration to 12 % according with the products that buy the companies in Mexico.

1. Introducción

El suero de queso de leche de vaca tiene una alta calidad nutrimental, contiene proteínas, grasa, minerales, vitaminas y una cantidad importante de aminoácidos esenciales; es decir los que nuestro cuerpo no puede producir por si solo y los tiene que obtener de la dieta diaria. El suero aparte de ser rico en estos, también lo es en aminoácidos de cadena ramificada, que son la valina, leucina y la isoleucina, estos evitan el catabolismo muscular y algunos vienen adicionados de glutamina (McIntosh *et al.*, 1998)

En la actualidad se ha iniciado el estudio y aplicación del suero de queso, para la elaboración de diversos productos, debido a que presenta un alto valor nutrimental. Así se ha reportado su uso como aditivo y enriquecedor de diversos alimentos, incluyendo sopas, salsas, aderezos para ensaladas, en carnes y en la elaboración de productos bajos en grasa, como la obtención de queso bajo en grasa y alto contenido de proteínas (McIntosh *et al.*, 1998; Steffl *et al.*, 1999; Modler y Emmons, 2001).

Sin embargo, a pesar de que en nuestro país existen empresas de diferente tamaño, elaboradoras de quesos, e incluso hay regiones geográficas donde mayoritariamente la población se dedica a este tipo de industria, el suero de queso de leche de vaca está sub utilizado y este se descarga sin aprovechamiento alguno. Por ejemplo, en el estado de Tlaxcala, donde las empresas lo envían a las plantas de tratamiento de aguas, operadas por el municipio o lo desechan al aire libre. En ambos casos se ocasionan problemas ambientales, ya que al enviarse a las plantas de tratamiento de agua el alto contenido de sólidos las desestabiliza y si el suero es desechado al ambiente. Su alto contenido de materia orgánica lo hace foco de ataques microbianos.

Por lo que para realizar la presente tesis se propuso a una empresa productora de quesos, ubicada en el estado de Tlaxcala, nos permitiera hacer el estudio del suero, encaminado a aprovechar los componentes del mismos y evitar la contaminación por dicho subproducto; todo ello con la finalidad de dar un uso alterno al mismo para no desecharlo, ya que es complicado y costoso su tratamiento en plantas de tratamiento de agua del tipo fisicoquímicas convencionales. Por lo que el presente se desarrolló bajo el marco de un convenio vinculado con dicha empresa y por razones de confidencialidad no se divulgan los datos de la misma y a lo largo de la presente simplemente se le denominará la “Empresa productora de quesos”.

El estudio se enfocó entonces no a observar el suero como desecho y por tanto a diseñar un sistema de tratamiento que permitiera su disposición, sino a aprovechar los componentes del suero principalmente proteínas y lactosa, componentes que le brindan al suero un valor nutrimental. México es uno de los principales países importadores de suero de queso, ubicándose en el año 2003 en el séptimo lugar con la importación de 51,694 Ton/año. Se buscaron entonces alternativas para aprovechar dicho valor nutrimental, de tal forma que la misma empresa pudiera aprovechar el suero dentro de sus procesos productivos, como es para la elaboración de mas queso, sustitución de la leche en polvo, bebida con sabor artificial, así mismo se estudio la comercialización del

suero en polvo, dando otra alternativa a la empresa lo cual permitirá que en lugar de invertirse en el tratamiento de sus desechos, pueda comercializarlos, creando mas fuentes de empleo, incrementar sus ingresos y sustituir importaciones.

2. Antecedentes

La aplicación del suero de queso tanto líquido como en polvo, para la formulación de productos va en aumento, entre los cuales se encuentran: formulación de cosméticos y productos farmacéuticos, leches reconstituidas, productos bajos en grasa, productos simuladores de grasa que traen como función la gelatinización, la retención de agua, la emulsión, mejora la viscosidad y la adhesión (Mundolácteo, 2005), formulación de masas de queso para aumentar el rendimiento, en la formulación de alimento animal entre otros. El suero en polvo se comercializa en diferentes presentaciones 12, 34 y 80 % de proteína; dulce o desmineralizado según la aplicación destinada; siendo el suero más comercial el de 12% de proteína (Crossman, 1985).

Día a día aumenta el uso de suero en polvo por su gran contenido proteico y actividad funcional, por lo que es importante recuperar este producto proveniente de la elaboración del queso; que traerá como beneficio principal evitar **la contaminación ambiental**, de mantos freáticos y aguas dulces. Aunado a esto una alternativa de **alimentación nutricional** para la población debido a sus propiedades funcionales como son: anticancerígenas, antimicrobianas, antivirales, antioxidativo, retardador de osteoporosis. Así también beneficios en funciones cardiovasculares como: antiinflamatorio, anti hipertensivo, anti trombotico y reducción del colesterol (McIntosh *et al.*, 1998; Steffl *et al.*, 1999; Mehra *et al.*, 2006; Wakabayashi *et al.*, 2006).

Las proteínas solubles que se encuentran principalmente en el suero se distinguen de las caseínas por su contenido elevado de lisina, triptófano y cisteína (aminoácido azufrado) y les confiere un alto valor nutricional, con una composición equilibrada en aminoácidos (Csapo *et al.*, 1996; Molina *et al.*, 1999) (ver figura 1).

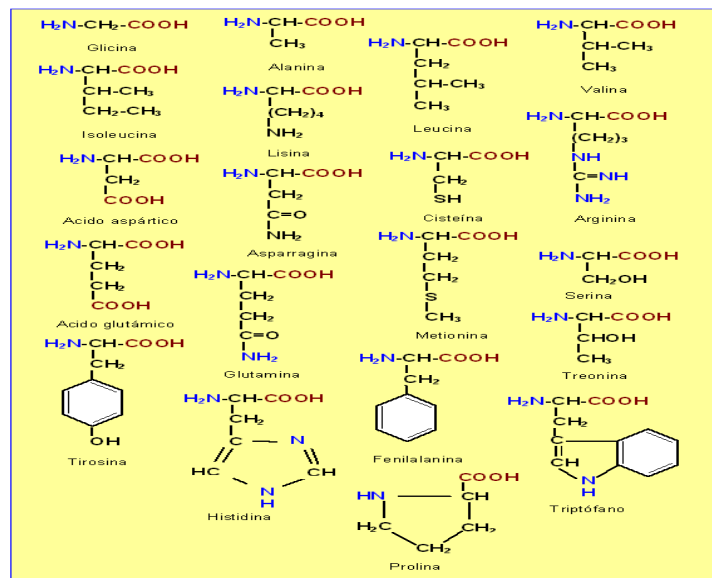


Figura 1. Estructura de los aminoácidos esenciales y no esenciales (Cox y Lehninger, 2006)

2.1 Leche.

Debemos entender, en general, que al hablar de leche como alimento para la especie humana se refiere a la leche de vaca, al tratarse de leche de otras especies domésticas se debe necesariamente mencionar el nombre de ella.

La leche es el único alimento cuya finalidad natural y exclusiva es alimentar a los mamíferos recién nacidos y, para ese objeto, su composición en nutrientes es equilibrada, tanto en azúcares, grasa y proteínas, como en micro nutrientes minerales, vitamínicos y en aminoácidos.

Hoy en día, el consumo de leche por niños y adolescentes es masivo y constituye una parte muy importante de la alimentación de la humanidad, alcanzando cerca de 500 millones de toneladas por año en el mundo (Meyer, 1990).

Es un producto inestable y perecedero que se altera rápidamente, sobre todo por contaminación microbiana. Por lo cual, debe refrigerarse lo antes posible y procesarse en forma rápida. Es un alimento muy complejo, en el cual se distinguen tres fases: a) fase acuosa donde se encuentran sales, azúcares, proteínas, vitaminas y aminoácidos disueltos, b) fase sólida: se encuentra en estado coloidal, formada por proteínas complejas (principalmente caseína), fosfatos y otras sales insolubles en calcio y c) fase lipídica emulsionada formada por grasas, esteroides (principalmente colesterol) y vitaminas liposolubles (vitaminas A y D) (Csapo *et al.*, 1996; Belitz y Grosch, 1997; Malacarne *et al.*, 2002; Mansson *et al.*, 2003; Wiking *et al.*, 2003). Estos componentes tienen su origen en la glándula mamaria (grasas, caseína, etc.) y en la sangre (proteínas del suero, vitaminas, etc.).

La leche tiene un color blanco dado por las partículas coloidales que dispersan la luz que reciben, y es ligeramente amarilla por la presencia de carotenoides, vitamina A y lactoferrina. Su densidad varía entre 1.028 a 1.034 g/L, un contenido mayor en materia grasa hará que su densidad disminuya; su pH está cerca del neutro, alrededor de 6.6 (Belitz y Grosch, 1997; Marcelo y Rizvi, 2008). Su composición varía según la especie (ver tabla 1).

Tabla 1. Valores medios aproximados de la composición de la leche, según las siguientes especies (Malacarne *et al.*, 2002; Wiking *et al.*, 2003).

Espece	Agua	Grasa	Proteína	Lactosa	Sales Minerales
Mujer	87.6%	3.6%	1.9%	6.6%	0.2%
Vaca	87.6%	3.7%	3.2%	4.8%	0.7%
Cabra	87.5%	4.1%	3.4%	4.2%	0.8%
Oveja	81.5%	7.5%	5.6%	4.4%	1.0%
Llama	86.5%	3.2%	3.9%	5.6%	0.8%

Las proteínas de la leche humana están bien equilibradas para la nutrición del lactante y bastante equilibradas para el adulto en aminoácidos esenciales, siendo ligeramente deficientes en metionina y cisteína, poseen un valor biológico alto, cercano al 90 % (Belitz y Grosch, 1997).

2.1.1 Componentes de la leche

2.1.1.1 Proteínas.

Las moléculas proteicas son encadenamientos de más de 100 residuos de una veintena de clases de aminoácidos diferentes.

Las distintas proteínas se diferencian por el número total de aminoácidos, su frecuencia y localización dentro de la cadena proteica, ofreciendo de este modo una gran variabilidad. Sus propiedades se derivan a la vez de su composición y de su particular estructura espacial.

Las proteínas, junto con las sales minerales, constituyen la parte más compleja e importante de la leche, tanto por su composición como por el estado fisicoquímico en el que se encuentran (Csapo *et al.*, 1996; Rattray y Jelen, 1996; Belitz y Grosh, 1997; McIntosh *et al.*, 1998; Schreiber, 2001; Beuvier y Buchin, 2004).

La importancia de los componentes proteicos de la leche radica en: a) es uno de los componentes mayoritarios de la leche, después del agua, lactosa y materia grasa, b) componente más importante desde el punto de vista nutritivo, c) cuanto mayor sea la tasa de proteínas en la leche cruda, mejor será el rendimiento de la transformación tecnológica, d) las propiedades fisicoquímicas más importantes de la leche, especialmente las relacionadas con su estabilidad, derivan de la presencia de proteínas en forma micelar (caseínas) (Belitz y Grosh, 1997).

La composición proteica de la leche de vaca y humana indica que el tipo de proteínas es similar no así los contenidos de cada una. La leche de vaca es muy rica en caseína y casi 10 veces más que en la leche humana (ver tabla 2).

Tabla 2. Composición proteica de las leches de vaca y humana (Revilla, 1996)

Proteína	Leche de vaca (g/100 mL)	Leche humana (g/100 mL)
Caseína	2.80	0.25
α -lactoalbúmina	0.12	0.25
β -lactoglobulina	0,30	No contiene
Inmunoglobulinas	0.05	0.10
Lactoferrina	0.02	0.17
Lactoperoxidasa	0.003	No contiene
Totales	3.40	0.89

Ciertas proteínas séricas poseen actividades enzimáticas e inmunológicas fundamentales (anticuerpos de importancia biológica y específicos para cada especie).

Las proteínas de la leche son de un alto valor biológico (30 - 36 g/L) y fundamentales en la nutrición humana. Estas proteínas son de dos tipos: a) Caseína en suspensión coloidal, 80% y b) Lactoglobulina y Lactoalbúmina del suero, 20%. En la composición de aminoácidos destaca: un alto porcentaje de ácido glutámico y, de acuerdo con la FAO, una deficiencia en metionina, cisteína y una ligera deficiencia en triptófano; tienen un valor biológico de 85 - 90 % y son muy fácilmente digeribles. (Meyer *et al.*, 1986)

Entre las proteínas de la leche destacan: la caseína, las albúminas, las globulinas, las proteosomas-peptona y la lactoferrina. A continuación se describen las propiedades físicas y químicas de cada grupo:

- Caseína

Las caseínas de la leche tienen pesos moleculares que oscilan entre 25,000 y 40,000 g/mol, las más importantes son la α , β y κ , que representan, respectivamente, el 50, 30 y 15 % del total de las caseínas. La caseína es un complejo de fosfoproteínas y glicoproteínas que están en forma de suspensión coloidal, en micelas estabilizadas que no coagulan al calentar la leche a 100°C, pero si al bajar el pH a 4.65. Las micelas proteicas de la leche tienen una estructura compleja, en la que las moléculas de α -, β - y κ - caseína se agrupan en un núcleo hidrófobo y una parte hidrófila, que estabilizan la suspensión coloidal. La unidad estructural de la caseína en la leche es la sub-micela, formada por 25 - 30 unidades de las α , β ó κ proteínas.

Las caseínas son fácilmente coagulables siendo la principal por acción de las proteasas ya sea animales o vegetales (Belitz y Grosch, 1997).

- **Albúminas.**

Dentro de este grupo se encuentran las β -lactoglobulina, α -Lactoalbúmina y seroalbumina. A continuación se describen sus propiedades físicas y químicas:

La β -lactoglobulina. Constituye la proteína soluble más abundante (3 g/L) en la leche, se conocen siete variantes genéticas siendo las A y B las más frecuentes en la leche de los rumiantes y de los mamíferos. La lactoglobulina precipita a 100°C y a pH 4.5 (Belitz y Grosh, 1997; Caessens *et al.*, 1997).

Su estructura está formada por una sola cadena de 162 residuos de aminoácidos, de los cuales cinco son de cisteína estableciendo dos puentes disulfuro intramoleculares que estabilizan su estructura terciaria compacta, quedando un grupo tiol (-SH) libre muy activo. Se presenta bajo la forma de dímero entre valores de pH de 7 a 3.5, constituido por dos monómeros unidos por enlaces no covalentes. La disociación en los correspondientes monómeros tiene lugar a un pH inferior a 3.5. El grupo tiol libre tiene una gran importancia tecnológica en los cambios que tienen lugar en la leche durante el calentamiento, debido a su implicación en reacciones con otras proteínas (caseína K y α lactoalbúmina), y al desmascaramiento de estos grupos por el calor, responsables del llamado sabor a "cocido" y de las propiedades antioxidantes en leches hervidas. Siendo la principal consecuencia de la formación de este complejo la estabilización por precalentamiento. El centro de la proteína es hidrofóbico por lo que es capaz de fijar moléculas hidrófobas como el colesterol y retinol (Belitz y Grosch, 1997; Caessens *et al.*, 1997; McIntosh *et al.*, 1998).

Sus propiedades son las siguientes: son fácil de aislar con pureza elevada, son de peso molecular bajo, de gran solubilidad, posee efecto regulador sobre el metabolismo de los fosfatos de la glándula mamaria; a temperaturas ordinarias no está ligada a otras fracciones proteicas y el descenso de la proporción de β -lactoglobulina en las leches normales procede del aumento de la infiltración de las proteínas de la sangre (Belitz y Grosh, 1997; Caessens *et al.*, 1997).

La α -Lactoalbúmina. Es una proteína globular y está presente en la leche de todos los mamíferos y junto con la anterior son las dos más importantes del lactosuero. Es una proteína muy sensible a la temperatura, se desnaturaliza fácilmente de modo reversible. Existen 2 variantes genéticas, A y B (es la que se presenta en la leche de vacas de razas europeas), que se diferencian en un único aminoácido y con las siguientes particularidades: a) Interviene en la reacción enzimática implicada en la síntesis de la lactosa, b) presenta gran afinidad por el Ca^{+2} en las zonas con gran cantidad de ácido aspártico, liga un átomo de Calcio por molécula, que da lugar a interacciones iónicas aportando gran estabilidad a la estructura y haciéndola más resistente a la desnaturalización irreversible por cambios térmicos, c) es una proteína estructuralmente similar a la lisozima de otras especies, con pesos moleculares de 14.2 KDa, sus

aminoácidos terminales son idénticos y presenta cuatro puentes disulfuro (Cox y Lehninger, 2006; Konrad y Kleinschmidt, 2008)

La seroalbúmina (SA). Es uno de los componentes mayores del suero sanguíneo. Supone solamente el 5% de las proteínas solubles de la leche. Es una proteína globular cuya estructura presenta numerosos repliegues estabilizados por 17 puentes disulfuro, algunos de los cuales son dobles, lo que da lugar a una fuerte aproximación entre los segmentos de la cadena, configurando una estructura compleja (Grasselli *et al.*, 1997; Belitz y Grosch, 1997)

- Globulinas

Este grupo comprende principalmente a las inmunoglobulinas, estas son proteínas capaces de reconocer y unirse específicamente a las estructuras contra las que están dirigidas (antígenos), permitiendo su reconocimiento y facilitando su destrucción por el conjunto del sistema inmune, son anticuerpos sintetizados en respuesta al estímulo de antígenos. Aglutinan numerosos tipos de bacterias y esporas y se consideran dentro del grupo de las principales sustancias antibacterianas de la leche cruda. Las inmunoglobulinas, son las moléculas más grandes de todas las presentes en la leche, encontrándose en pequeña cantidad y proceden de la sangre o son sintetizadas en la propia glándula mamaria. Son las más termoresistentes de la leche (Belitz y Grosch, 1997; Mehra *et al.*, 2006).

La leche contiene muy poca cantidad de estas globulinas, un promedio de 0.6 g/L en la leche de vaca, representado el 2 % de las proteínas totales. En la leche y en el calostro las tres inmunoglobulinas principales son: a) Inmunoglobulina G (**IgG**). Es la que se encuentra presente en mayor cantidad (80–90 %), con un peso molecular de 150 KDa, contiene pocos glúcidos, b) Inmunoglobulina A (**IgA**) está conformada por dos moléculas de IgG con un peso molecular de 385 KDa, contienen del 8 al 10 % de glúcidos, c) Inmunoglobulina M (**IgM**). Asociación de 5 a 6 unidades básicas con un peso molecular de 900 KDa (Mehra *et al.*, 2006), se encuentran en escasa proporción 7 % (ver tabla 3).

Tabla 3. Propiedades de las inmunoglobulinas (Mehra *et al.*, 2006)

Propiedad	IgG (I)	IgA	IgM
Peso molecular KDa	160	320	960
Constante de sedimentación	7 s	11 s	19 s
Glúcidos (%)	3	8	11
Cadena H Característica (2)	γ	α	μ
Papel biológico principal	Función normal de anticuerpos	Especificidad de grupo sanguíneo	isoaglutininas

(1) Subunidades en subclases: IgG₁ (seudoglobulina) e IgG₂, ampliamente predominante en la leche. (2) Cadena pesada (H) pm = 60 KDa; cada monómero comprende dos cadenas H y dos cadenas ligeras (L) pm = 20 KDa; estas últimas pueden ser las mismas en las diferentes clases.

Estos compuestos constituyen escasamente el 2 % de las proteínas totales, excepto en el calostro donde son abundantes tras el parto para el aporte de defensas inmunológicas al lactante (ver tabla 4), descendiendo rápidamente en los días siguientes al mismo.

Tabla 4. Contenido de Inmunoglobulinas en g/L (Mehra et al., 2006)

Compuesto	IgG1	IgG2	IgA	IgM
Suero sanguíneo	14	13	0.39	3.8
Lactosuero calostrado	65	2.5	4.7	5.4
Lactosuero de la leche	0.4	0.06	0.11	0.09

- Proteosas-peptona.

Constituyen una fracción compleja formada por una mezcla heterogénea de polipéptidos que permanecen solubles después del calentamiento de la leche a 95 °C durante 20–30 minutos seguido de una acidificación a pH 4.6. Presenta alta estabilidad térmica. A pesar de poseer masas moleculares relativamente pequeñas se las incluye en el grupo de las proteínas porque precipitan en gran parte bajo la acción del ácido tricloroacético (TCA) a la concentración de 12 % (Belitz y Grosch, 1997).

Sus principales características son: a) efecto deprimente en el volumen del pan adicionado de lactosuero, b) fracción nitrogenada de la leche que posee la mayor actividad de superficie (descenso de la tensión superficial), c) sustrato de la reacción activada por la luz solar que conduce a la producción de sabores anormales y d) son Inhibidas por la lipólisis en la leche de vaca.

- Lactoferrina

Constituye, junto con la lisozima y el sistema lactoperoxidasa, las llamadas proteínas protectoras de la leche. Son proteínas no inmunológicas que aumentan y complementan el sistema inmune. En la especie humana es uno de los componentes de la leche que participan en la protección del recién nacido frente a los microorganismos y es de color rojo (0.2 g/L). En condiciones fisiológicas, tiene muy poco hierro unido y es capaz de fijar el que se encuentra en el medio, de tal forma que los microorganismos no disponen de él para su proliferación. Es una glicoproteína sencilla de peso molecular de 80–92 KDa que liga dos átomos de Fe⁺³ por molécula, esta es segregada por la glándula mamaria, mucosas lacrimal, bronquial, salivar y renal (Belitz y Grosch, 1997; Wakabayashi et al., 2006).

Posee 2 funciones importantes: a) transportadora de Fe y b) presenta acción bacteriostática.

2.1.1.2 Azúcares de la leche

Otro de los componentes de la leche son los azúcares, el principal azúcar lo constituye la lactosa (40-50 g/litro en leche de vaca; 75 g/litro en leche humana). Otros son: glucosa, galactosa, amino azúcares, azúcares fosforilados, entre otros, los cuales se encuentran en pequeñas cantidades (mg o microgramos por 100 mL). El poder edulcorante de la lactosa es aproximadamente $\frac{1}{4}$ del de la sacarosa, $\frac{1}{5}$ de la fructosa y $\frac{1}{2}$ del de la glucosa. Junto a la sacarosa da una textura suave y cristalina al enfriarse en helados (Belitz y Grosch, 1997; Mehra *et al.*, 2006; Ferez *et al.*, 2006).

La lactosa en disolución puede tener un equilibrio entre las formas alfa (α) y beta (β), dependiendo este equilibrio de la temperatura y del pH. La lactosa y los grupo amino de los aminoácidos y proteínas son la causa principal del oscurecimiento de la leche sometida a tratamientos con temperaturas elevadas, ya sea en procesos industriales o culinarios, fenómeno conocido con el nombre de pardeamiento químico o no enzimático. Algunos grupos humanos de la raza negra no pueden digerir la lactosa cuando llegan a la edad adulta, porque carecen de la enzima lactasa para su hidrólisis, produciéndoles trastornos digestivos que se manifiestan principalmente por diarrea (Morr y Ha, 1991; Belitz y Grosch, 1997; Mansson *et al.*, 2003).

2.1.1.3 Lípidos de la leche

El tercer gran grupo de los componentes principales de la leche desde el punto de vista industrial y nutricional son los lípidos. Es el elemento base de la mantequilla y la natilla, además de que es elemento constituyente de la mayor parte de los derivados lácteos. A continuación se muestra la composición porcentual de la fracción lipóide (ver tabla 5).

Tabla 5. Composición porcentual de la fracción lipóide (Meyer *et al.*, 1990)

Componente	Porcentaje (%)
Triglicéridos, di- y mono-glicéridos	98.0
Ácidos grasos libres	0.5 (*) 0.3 (*)
Fosfolípidos y esfingolípidos	0.7
Residuo Insaponificable	0.3

(*) dependiente de la alteración enzimática.

El residuo insaponificable está constituido por: colesterol, otros esteroides, hidrocarburos, vitaminas liposolubles y carotenoides. En la leche, la grasa está

emulsionada en forma de microglóbulos, cuyo diámetro oscila entre 3 - 10 μ , los cuales están rodeados por una membrana doble de fosfolípidos y proteínas; esta doble capa lipófila-hidrófila estabiliza la emulsión (Fenaille *et al.*, 2006). La formación de grasa en la superficie (crema) de la leche se debe a una “desemulsión” causada por una globulina del suero, que está en pequeña cantidad y que forma enlaces cruzados entre las proteínas de cubierta de los glóbulos, produciendo la floculación y separación.

La composición de ácidos grasos: es muy compleja, se han identificado más de 400 ácidos grasos entre saturados, insaturados, normales y ramificados. De los ácidos grasos de la grasa láctea $\frac{2}{3}$ son saturados y $\frac{1}{3}$ son insaturados. Los principales ácidos grasos insaturados son linoleico y linolénico. Los ácidos grasos insaturados sufren el fenómeno de enranciamiento oxidativo. Estos se caracterizan por una notable proporción de ácidos grasos de cadena corta, especialmente de butírico. Los glicéridos de la leche no pasteurizada se hidrolizan por lipasas activas de suero, aumentando los ácidos grasos libres con aparición de sabores extraños (Fenaille *et al.*, 2006).

Es importante la detección de la adición de grasas vegetales o animales emulsionadas a la leche, ya que estas se utilizan comúnmente para adulterarla. Los análisis más comunes que se realizan para tal fin son: a) El Índice de Reichert - Meissl se detecta disminución de los ácidos grasos volátiles, b) alteración del residuo insaponificable, presencia de fitoesteroles (grasas vegetales) y aumento del colesterol (grasas animales) (Csapo *et al.*, 1996; Malacarne *et al.*, 2002; Mansson *et al.*, 2003; Wiking *et al.*, 2003 Fenaille *et al.*, 2006).

2.1.1.4 Sales minerales de la leche.

Este componente de la leche de vaca es de 7 g/L, las más importantes son el fosfato de calcio y el cloruro de potasio. El 90% del fósforo (P) y el calcio (Ca) están en las micelas de caseína formando parte de la estructura micelar. El 10% restante se encuentra en el suero. Así también se encuentran oligoelementos tales como: zinc, aluminio y hierro (Csapo *et al.*, 1996; Belitz y Grosch, 1997; Mansson *et al.*, 2003).

2.1.1.5 Vitaminas de la leche

De este componente podemos hablar que son las que proceden de la alimentación de la vaca y las que proceden de las bacterias del rumen. La leche producida en verano es la que contiene mayor riqueza vitamínica, entre las que se encuentran: a) vitaminas liposolubles presentes en la crema y b) vitaminas hidrosolubles, éstas se concentran en el suero, las de mayor importancia son: vitamina **B2** (Riboflavina), **B12** (Cianocobalamina) y vitamina **A** y con un aporte intermedio de vitamina **C**, **B1**, (tiamina), **B6** (piridoxina) y es pobre en vitamina **D**, **K**, niacina y tocoferoles (vitamina E) (Csapo *et al.*, 1996; Belitz y Grosch, 1997; Mansson *et al.*, 2003).

2.1.2 Clasificación de las leches procesadas

Existen diferentes tipos de leches procesadas de mayor consumo, estas se obtienen después de la aplicación de diversas operaciones industriales (ver tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de las leches de acuerdo al procesamiento

LECHE	<ul style="list-style-type: none">○ Pasteurizada○ Esterilizada (UHT)○ Entera, semidescremada o descremada○ Homogeneizada○ Concentrada (evaporada)○ Condensada○ En polvo
-------	---

2.1.2.1 Leche Pasteurizada

Pasteurización se define como aquella combinación de tiempo y temperatura, usualmente es calentamiento y enfriamiento rápido que permite eliminar los gérmenes patógenos, reducir los gérmenes saprófitos seguida de una conservación a baja temperatura (refrigeración). Clásicamente se distinguen dos tipos de pasteurización: a) baja y b) alta.

• Baja (LTLT) 63°C x 30' (61 – 65°C) • Alta (HTST) 72°C x 15'' (72 – 80°C)
--

Estas combinaciones de tiempo y temperatura son suficientes para eliminar los gérmenes patógenos e inactivar enzimas (Morr y Ha, 1987; Revilla, 1996).

2.1.2.2 Leche Esterilizada.

Como definición de Esterilización se entiende por aquella combinación de tiempo y temperatura que permite la destrucción de gérmenes patógenos y saprófitos y sus esporas. Se emplean temperaturas muy altas por un tiempo muy corto mediante el procedimiento llamado ultrapasteurización (Ultra High Temperature llamado así por sus siglas en inglés UHT). Se emplea habitualmente el siguiente esquema:

145 – 150 °C x 4 – 6''

Existen diferencias importantes entre los procesos de pasteurización y esterilización aplicados al procesamiento de la leche (Morr y Ha, 1987; Revilla, 1996) (ver tabla 7).

Tabla 7. Características de la pasteurización y esterilización

PASTEURIZACION	ESTERILIZACION
<ul style="list-style-type: none"> ○ Elimina gérmenes patógenos. ○ Reduce a un mínimo gérmenes saprófitos. ○ Debe conservarse refrigerada hasta su consumo, vida comercial limitada (días). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elimina flora bacteriana. ○ Menor alteración de características organolépticas. ○ Menor pérdida de elementos nutritivos. ○ Requiere de un envasado aséptico posterior. ○ No requiere conservación en frío

En general, el calor aplicado a la leche produce los siguientes fenómenos: inactivación de fosfatasas e inactivación de enzimas como lipasas y peroxidasas. La esterilización UHT produce pérdidas de vitaminas: B1, B6, B12 y ácido fólico y vitamina C; pero no altera la vitamina B2 ni el ácido pantoténico. La reacción de Maillard produce pardeamiento de la leche, ya que el calor la favorece; además de desnaturalizar las proteínas esto causa una mayor facilidad en la coagulación de la leche esterilizada o hervida, las inmunoglobulinas del suero se inactivan y además se tiene pérdida de aminoácidos esenciales como cisteína y lisina, así como leve alteración del sabor (Morr y Ha, 1987; Revilla, 1996).

2.1.2.3 Leche Descremada

Por razones de cambio de hábitos de consumo, asociado a razones médicas, hoy se consumen leches y alimentos bajos en calorías, bajos en colesterol y grasas saturadas. La composición de la leche descremada cumple con estos requisitos para la alimentación preferente de un grupo de consumidores (Meyer *et al.*, 1986) (ver tabla 8)

Tabla 8. Composición química entre la leche entera y la leche descremada. Composición por litro (Revilla, 1996)

Parámetro	Descremada	Entera
Calorías	350 Kcal	600 Kcal
Proteínas	33 - 34 g	32 g
Grasas	2 g	36 g
Azúcares	52 g	50 g

2.1.2.4 Leche Homogeneizada

Se produce este tipo de leche de vaca con el fin de mejorar su digestibilidad para los lactantes.

El procesado de esta leche consiste en pasar la leche pasteurizada, aún caliente, por unos orificios finos a elevada presión (175 bars). Lo anterior trae por consecuencia que los glóbulos grasos pasan de un diámetro de 5 - 10 μm a 2 μm , por tanto, se aumenta la superficie total de la interfase grasa-suero. Las micelas más finas se estabilizan por: adsorción de fosfolípidos, proteínas de la membrana globular rota y proteínas séricas, por tanto tienen menor tendencia a formar nata. Por otro lado, esta mayor superficie grasa-suero facilita la acción de lipasas residuales y de la oxidación por el oxígeno (O_2) disuelto y la leche es más blanca por la mayor dispersión de la luz (Meyer *et al.*, 1986; Revilla, 1996).

2.1.2.5 Leche Evaporada

Existen diversos tipos en el mercado, se obtiene por evaporación al vacío con eliminación del 60 – 66 % del agua. Se utiliza para consumo diluido, para añadir al café y en la preparación de postres.

En la fase de esterilización puede producirse una coagulación de la caseína, para evitarla se añaden pequeñas cantidades de citrato sódico, bicarbonato sódico o fosfato bisódico con lo cual se disminuye la concentración de Ca^{++} en el suero y se eleva un poco el pH (Meyer *et al.*, 1986; Revilla, 1996).

2.1.2.6 Leche Condensada Azucarada

Este producto contiene una gran proporción de sacarosa (entre un 40 - 50 % del producto final), mediante el cual se impide la proliferación bacteriana, no necesitando por tanto una esterilización final.

La evaporación se realiza en grado necesario para que el producto final tenga alrededor de 9 % de grasa y 8 % de proteínas; al enfriarse la leche condensada la lactosa tiende a cristalizar en cristales grandes los que le otorgan una consistencia granulosa, lo anterior se evita por un enfriamiento rápido y la siembra de microcristales de lactosa lo cual genera muchos núcleos pequeños de cristalización. En este tipo de leche se favorece la reacción de Maillard y la coagulación proteica por el calor (Meyer *et al.*, 1986; Revilla, 1996).

2.1.2.7 Leche en polvo

Corresponde a un procesado por deshidratación de la leche, en el cual el producto final alcanza aproximadamente un 5 % de agua (Revilla, 1996; Hall e Iglesias, 1997) (ver tabla 9).

Tabla 9. Composición de la leche en polvo entera.

Componente	Composición porcentual
Lactosa	36
Materia grasa	26 (descremada < 2%)
proteína	25
Humedad	5

La deshidratación se realiza por pulverizado en corriente de aire caliente “Spray Dryer”. Dependiendo de las condiciones de operación bajo las cuales se haga el secado se obtienen diversos productos. Donde se persigue unificar la granulosidad, la solubilidad y minimizar las pérdidas del producto.

Los principales usos de la leche en polvo son: consumo al ser reconstituida con agua, elaboración de quesos, fabricación de helados, cremas, platos preparados, así también su uso en la industria de panadería y pastelería (Meyer *et al.*, 1986; Revilla, 1996; Hall e Iglesias, 1997).

2.2 Productos lácteos.

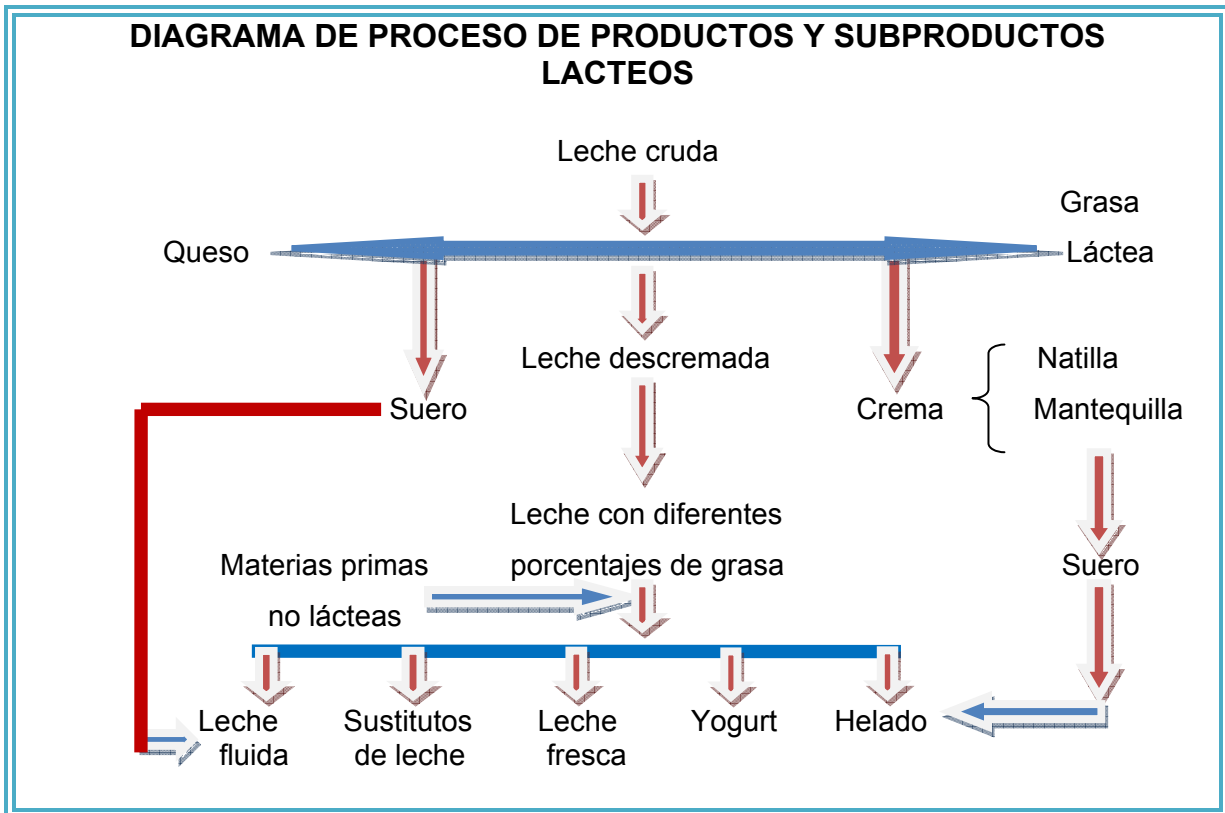
La industria de la leche y sus derivados ofrecen al mercado productos muy diversos, que reúnen los requisitos nutrimentales y de inocuidad para su comercialización (ver tabla 10).

Tabla 10. Productos y subproductos de la leche

Proceso	Producto
Derivados por fermentación	Quesos, yogurt Kéfir
Derivados grasos	Crema, mantequilla
Derivados para usos industriales	Caseína, lactosa
Subproducto	Suero de leche en polvo

Para la elaboración de estos productos se requiere de operaciones y procesos diferentes, algunos se elaboran bajo procesos fermentativos como es el caso del yogurt y algunos quesos llamados madurados y otros que se fabrican al separar los componentes de la leche, como es el caso de la crema y la mantequilla que se elaboran después de la descremación.

Para dar una idea de los diferentes productos que se pueden obtener de la leche y de donde se elaboran se presenta el siguiente diagrama (Meyer *et al.*, 1986).



2.2.1 Productos lácteos derivados por Fermentación

Los principales productos lácteos son: a) yogurt y b) queso.

2.2.1.1 Yogurt

Es un derivado lácteo gelificado y ácido, con componentes aromáticos típicos. Se obtiene por fermentación de la leche con microorganismos acidificantes; es la llamada fermentación láctica. Dentro de sus características de procesamiento se encuentra que no hay esterilización final y las bacterias acidófilas deben estar presentes en el producto final (Meyer, 1990).

Se obtiene por la fermentación de cultivos lácticos de cepas de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* cuyas enzimas hidrolizan la lactosa, transforman la galactosa en glucosa y producen glicólisis con formación de ácido láctico. Con lo cual se disminuye el pH eliminándose la flora patógena y favoreciendo la proliferación de la flora acidófila y termófila. La caseína se coagula parcialmente y se forma un gel constituido por una red de micelas unidas lo que da la consistencia típica del yogur.

2.2.1.2 Quesos

Es el producto que se obtiene de la coagulación de la leche, esta puede ser leche entera, leche descremada, leche parcialmente descremada, crema, crema de suero, suero de queso o suero de mantequilla debidamente pasteurizado o una combinación de estas materias; por la acción de cuajo u otros coagulantes apropiados (enzimas específicas o ácidos orgánicos permitidos) y separando parcialmente el suero que se produce como consecuencia de tal coagulación. El producto pasa por diferentes procesos según el tipo de queso, el cual puede ser madurado o sin madurar, sólido o semi-sólido. El rendimiento en la producción de queso partiendo de leche 100 % es el siguiente: lactosuero 88 - 91 % (84 % de agua, 6 % sólidos), queso 9 - 12% (Meyer *et al.*, 1986; Flores, 2001).

Los quesos se encuentran entre los mejores alimentos nutritivos del hombre, proveen alta cantidad de proteína, grasa, calcio, fósforo y vitaminas; es una fuente muy rica de calcio y proteína, son de alta digestibilidad.

Existen dos tipos de quesos y se clasifican por sus características como lo son textura y tipo de procesamiento. Según su textura son los siguientes: A) suaves, madurados o no, B) semi-suaves ó madurados, C) duros madurados, con ó sin ojos y D) muy duros granulados. Según su proceso: a) quesos madurados, b) quesos fundidos y c) quesos hilados (Flores, 2001).

A continuación se describen los quesos mas comercializados en México: a) queso fresco y b) queso Oaxaca.

- Quesos frescos

Los quesos más populares en todos los países latinoamericanos son los quesos frescos y son también conocidos como quesos blancos, son fáciles de elaborar y los de mayor rendimiento. Sin embargo, también son los de mayor riesgo potencial de intoxicación e infección, debido a que sus características permiten un rápido crecimiento de los microorganismos, por ello en todos los países son los más legislados.

Dentro de este grupo de quesos frescos se encuentran la cuajada que no recibe prensado y el queso blanco que recibe prensado moderado, para este tipo de queso la leche debe seguir un proceso de elaboración como es la pasteurización, estandarización

de la leche en cuanto a grasa y acidez, para pasar a continuación a la coagulación y corte o rayado una vez cuajada, y así continuar con la agitación y desuerado para obtener queso sin prensar, el diagrama del proceso se muestra en el anexo 1 (Czulak, 1985; Lawrence, 1993; Bastian y Lo, 1998; Hinrichs, 2001; Flores, 2001).

- Queso tipo Oaxaca

La característica principal de estos quesos, es que como parte de su proceso de fabricación, recibe un tratamiento térmico mecánico que tiene como objetivo fundir las proteínas y alinear sus fibras, a esto se le llama hilado y consiste en estirar repetidas veces la cuajada caliente.

Este tipo de queso es muy popular en todos los países y reciben diferentes nombres: Oaxaca en México, guerillo en Nicaragua, palmito en Costa Rica, queso de mano en Venezuela, queso de hoja en Ecuador. A esta familia de quesos hilados pertenece el queso Mozzarella, el queso para pizzas (para fundir) y el queso Provolone.

La leche utilizada debe descremarse hasta niveles de 25 a 28 % de grasa, para evitar que por acción del calor se observen gotas gruesas de grasa de leche, que dan mal aspecto a los productos elaborados; el proceso que sigue una vez estandarizada la leche es similar a la de los quesos fresco y blanco, solo que al obtener la cuajada y alcanzar el punto de elasticidad, el cual es probado con agua a 80°C se continua con el proceso de amaxalado, estirado y empacado; el diagrama del proceso se muestra en el anexo 1 (Czulak, 1985; Lawrence, 1993; Bastian y Lo, 1998; Hinrichs, 2001; Flores, 2001; Martínez et al., 2006).

2.3 Suero de queso.

Luego de obtenerse el sólido que llamamos queso a partir de la coagulación de la leche, queda un residuo líquido, el denominado suero del queso, la cantidad de suero residual es aproximadamente de 5 a 10 veces mayor que la de queso producido. Es este un efluente industrial rico en proteínas (6 g de proteínas por cada litro). Sus proteínas son muy valiosas para la industria alimentaria y farmacéutica. Puesto que la producción de quesos a nivel mundial origina cantidad tal de suero que equivale a 660,000 toneladas anuales de estas proteínas (Grasselli *et al.*, 1997).

En países desarrollados el suero se deshidrata para utilizarlo en formas diversas. Se puede encontrar en el mercado en polvo, concentrado y como aislados proteicos, los cuales se utilizan en formulaciones de bebidas, productos lácteos y extensores de carnes (Andrade, 1999; Johnson, 2004).

A pesar de que la proteína del suero es de mejor calidad que la caseína, actualmente este efluente es desechado ó a veces transferido para el consumo de cerdos, desperdiciando así el alto valor nutricional de su proteína. La caseína representa el 78% de la proteína de la leche, según indica Revilla (1996), es ligeramente deficiente en los

aminoácidos azufrados (metionina y cisteína); mientras que las proteínas del suero, que representan un 17 % del total de la proteína de la leche, poseen mayor cantidad de estos aminoácidos, por lo cual su valor biológico es de 1.0, superior al 0.8 de la caseína y comparable con el valor biológico de la proteína del huevo que es de 1.0 (Domínguez, 2000).

Desde el punto de vista industrial, las proteínas del suero se pueden obtener utilizando diversas técnicas las cuales son: a) ósmosis inversa, b) nanofiltración, c) ultrafiltración, d) electrodiálisis, e) intercambio iónico (resinas) y f) precipitación (Niro, 2008).

De acuerdo con el procedimiento utilizado, se obtiene un producto concentrado entre 75 – 90 % de proteínas cuyos principales usos son: pastelería, industria alimentaria, fabricación de chocolates, cremas, postres, helados y cereales (Mundolácteo, 2005).

- **Proteínas de suero.**

Son proteínas globulares solubles en agua, no coagulables que son separadas de la cuajada, de forma manual o mecánica y representan el 20 % de las proteínas presentes en la leche; entre ellas se encuentran lactoalbúminas, lactoglobulinas, inmunoglobulinas, lactoferrina, proteasa-peptonas y lacto peroxidas, las cuales permanecen en el suero tras la acidificación de la leche a pH = 4.6 ó por la acción del cuajo; no interviniendo en la formación de la cuajada, razón por la que también se les denomina proteínas séricas. Se detectan en el suero de quesería una vez separado del gel por tecnologías clásicas.

Las proteínas del suero lácteo representan una mezcla variada de proteínas, las cuales tienen una serie de efectos biológicos, que van desde un efecto anti cancerígeno hasta efectos en la función digestiva (Madrid y Cenzano, 1995; Grasselli *et al.*, 1997 ; McIntosh *et al.*, 1998; Inda, 2000; Mehra *et al.*, 2006; Wakabayashi *et al.*, 2006; Marcelo y Rizvi, 2008).

Sus principales propiedades son: a) emulsificantes muy efectivas, b) Solubles a pH bajos, c) apropiadas en productos acidificados, d) buena capacidad de gelatinización. e) aumentan la viscosidad y f) termolabilidad y precipitando progresivamente con los tratamientos térmicos (Patočka *et al.*, 1993; McIntosh *et al.*, 1998; Steffl *et al.*, 1999; Modler y Emmons, 2001; Mehra *et al.*, 2006; Wakabayashi *et al.*, 2006; Marcelo y Rizvi, 2008).

Las proteínas obtenidas del suero de la leche, después de precipitar la caseína, tienen propiedades hidratantes y emulsificantes mejores que en la leche

El suero más útil para obtener proteínas es aquel procedente de la coagulación de la caseína con enzimas (renina), se le conoce con el nombre de suero “**dulce**”, en cambio

las obtenidas del suero “**ácido**” son de baja calidad (Pederson y Harol, 1980; Miller *et al.*, 1991). El suero contiene alrededor de 7% de sólidos disueltos (ver tabla 11).

Tabla 11. Composición del suero de queserías (Armstrong, 1986).

Componente	Concentración, % peso	
	suero dulce	suero ácido
Agua	93	93
Grasa	0.3	0.1
Proteína	0.8	0.6
Lactosa	4.9	4.3
Ceniza	0.56	0.46
Ácido láctico	0.2 – 0.3	0.7 – 0.8

Las proteínas solubles se distinguen de las caseínas por: a) su composición, presentan un contenido elevado en lisina, triptófano y cisteína (aminoácido azufrado) y ausencia de fósforo, b) por su estructura, es más compacta, menor fijación de iones y mayor resistencia a las proteasas, c) por la desnaturalización, son proteínas mucho más sensibles al calor que las caseínas. El calor al desnaturalizarlas, desordena la estructura de sus moléculas que se agregan bajo la acción del agua formando flóculos, es decir el calor provoca la insolubilización de las proteínas solubles. La solubilidad de las proteínas depende también del contenido en sales de la solución. Presentan propiedades espumantes y emulsionantes que las adecuan para su utilización en la industria cárnica y en panadería (ver tabla 12).

Tabla 12. Características físico-químicas de las proteínas séricas (Belitz y Grosch, 1997)

Parámetro	β -Lg	α -La	SA	Ig	PP	L.Ferrina
Residuos de aminoácidos*	162	123	582	-	-	-
Peso Molecular (KDa)	18.3	14.2	66.3	152 – 1x10 ³	4 - 40	80 - 92
pH isoelectrico	5.2 – 5.3	4.3	4.8	5.6 – 7.3	3.3 - 3.7	-
Carga a pH 6.6	-11.0	-2.6	-	-	-	-
Origen	Mamario	Mamario	Sanguíneo	Mamario Sanguíneo	-	-

Clasificación de las proteínas del suero.

Albúminas: son el 75% de las proteínas del suero y el 11% de las proteínas totales, solubles en presencia de Na₂SO₄ al 20%.

Globulinas: 10–12% de las proteínas solubles.

Proteosas–peptonas: son el 10 % de las proteínas solubles.

Lactoferrina sérica. (Ostojie *et al.*, 2005; Marcelo y Rizvi, 2008)

El suero representa una rica y variada mezcla de proteínas secretadas, que poseen amplio rango de propiedades químicas, físicas y funcionales. Concretamente, las proteínas del suero suponen alrededor del 20 % de las proteínas de la leche de vaca. Estas proteínas no sólo juegan un importante **papel nutritivo**, con una rica y balanceada fuente de aminoácidos, sino que además, en muchos casos, parecen ejercer determinados **efectos biológicos y fisiológicos**, *in vivo*. Otra principal actividad a destacar, es su actividad anticancerosa, teniendo un papel estimulador de la respuesta inmune, tanto humoral como celular. Estas proteínas están implicadas en un gran número de efectos biológicos, observados en estudios en animales y humanos (Caessens *et al.*, 1997; McIntosh *et al.*, 1998; Konrad y Kleinschmidt., 2008) (ver tabla 13).

Tabla 13. Efecto funcional de las proteínas séricas (Mehra *et al.*, 2006 ; Wakabayashi *et al.*, 2006)

PROTEINA	EFFECTO FUNCIONAL
Proteína del suero total	Anticancerígeno, inmunoestimulador, longevidad, hipocolesterol.
β-lactoglobulina	Función digestiva, sustrato común para trabajos enzimáticos y estudios referentes al enlace de los iones a las proteínas y su desnaturalización.
α-Lactoalbúmina	Anticancerígeno
Lactoferrina	Antimicrobiano, transporte y regulación del Fe, inmunoestimulador, antiinflamatorio, crecimiento y proliferación celular y anticancerígeno
Inmunoglobulinas	Inmunidad pasiva
Séricas	Diferenciación y crecimiento celular, reparación y protección de la mucosa intestinal y reparación de lesiones.

Asimismo, una vez parcialmente hidrolizadas, sirven de fuente de numerosos péptidos, que poseen actividades biológicas y fisiológicas.

En los últimos años se están llevando a cabo numerosas investigaciones con dos objetivos claros: a) evaluar de forma científica los posibles efectos fisiológicos de estas proteínas en ensayos clínicos y b) el desarrollo de productos alimenticios, donde las proteínas del suero y fracciones de la misma formen parte de la composición, actuando como ingredientes promotores de la salud (McIntosh *et al.*, 1998).

El concentrado de proteínas de suero es un portador de materiales: de grasas solubles, vitaminas y aminoácidos esenciales, sirve para la formulación de productos bajos en grasa con características similares a los que contienen grasa, por su facilidad de gelatinización sin la presencia de calor, además de afectar la retención o liberación del sabor. También al ser usado para la elaboración de alimentos congelados por su gran estabilidad retardando el crecimiento de los cristales de hielo, debido a la forma en que las proteínas derivadas del suero estructuran el agua (McIntosh *et al.*, 1998; Johnson, 2004).

2.3.1 Procedimiento para la recuperación de proteínas de suero.

Para concentrar la proteína del suero se han aplicado varias técnicas que difieren básicamente en el tamaño de los poros de la membrana utilizada. La microfiltración se usa con membranas de 0.1 a 1 micrones, la ultrafiltración es con membranas de menor tamaño de poro, de 0.01 a 0.1 micrones, sigue la nanofiltración estas membranas son todavía menores, de 0.001 a 0.01 micrones y la ósmosis inversa trabaja con membranas menores a 0.001 micrones. Dependiendo del o los componentes a separar se hace la elección del tamaño de membrana a utilizar (Ibérica, 2006) (ver figura 2).

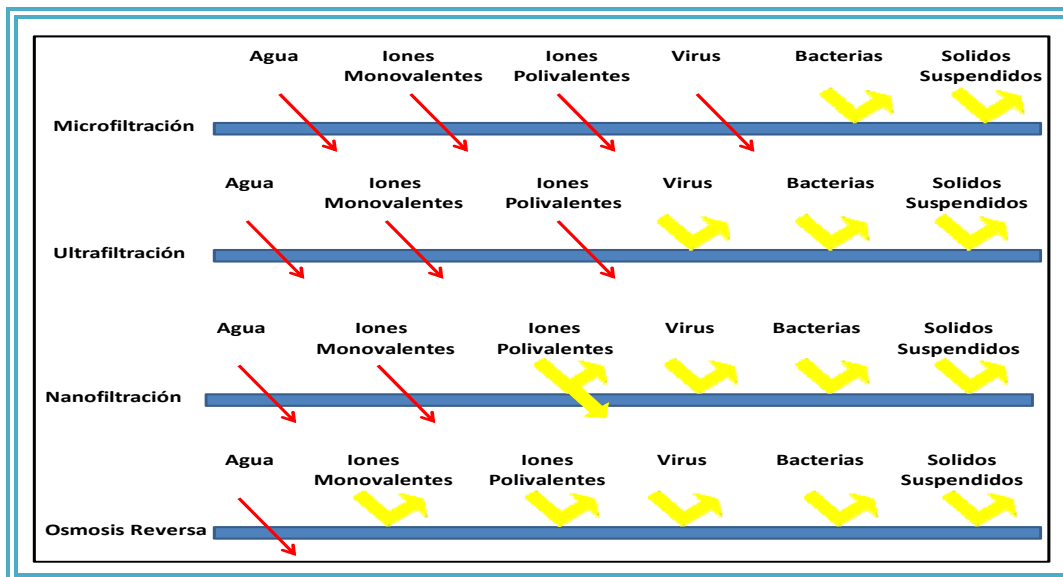


Figura 2. Diferentes tipos de filtración y concentración del suero de queso.

Por ejemplo para separar los componentes de los productos lácteos, se puede utilizar la microfiltración para grasa, ultrafiltración para proteínas, nanofiltración para lactosa y ósmosis inversa sales (ver figura 3).

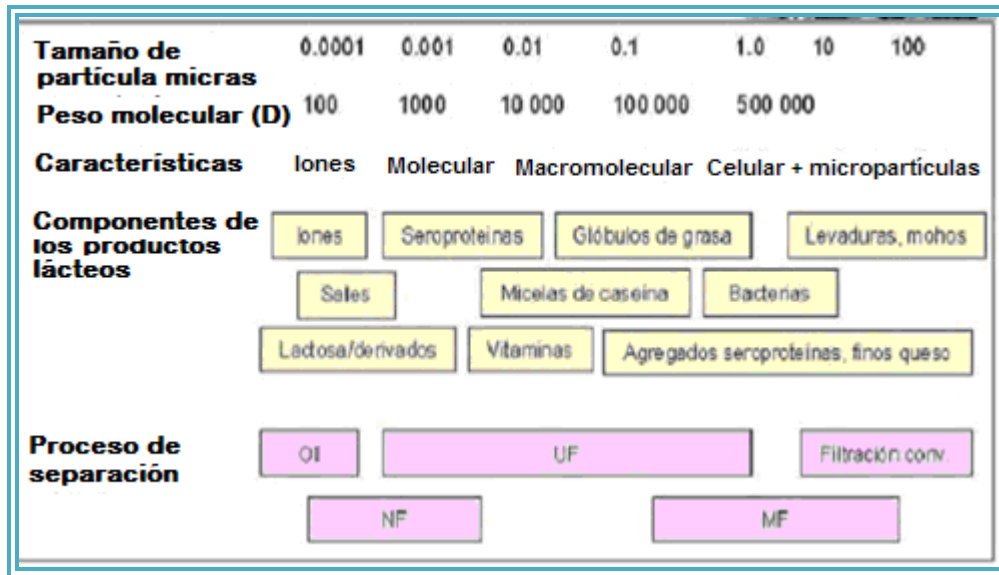


Figura 3. Procesos de separación de los diferentes componentes del suero de queso (Ibérica, 2006).

2.3.1.1 Microfiltración

La microfiltración se realiza con membranas de 0.1 a 1 micrones con este proceso se separa los microorganismos y lípidos produciendo así un concentrado con 50% de proteína y 0.11% de grasa. Sin embargo, este método requiere de un descremado preliminar y una ultrafiltración (UF) posterior a la microfiltración (Harper y Muller, 1979; Cheryan, 1998) (ver figura 4).

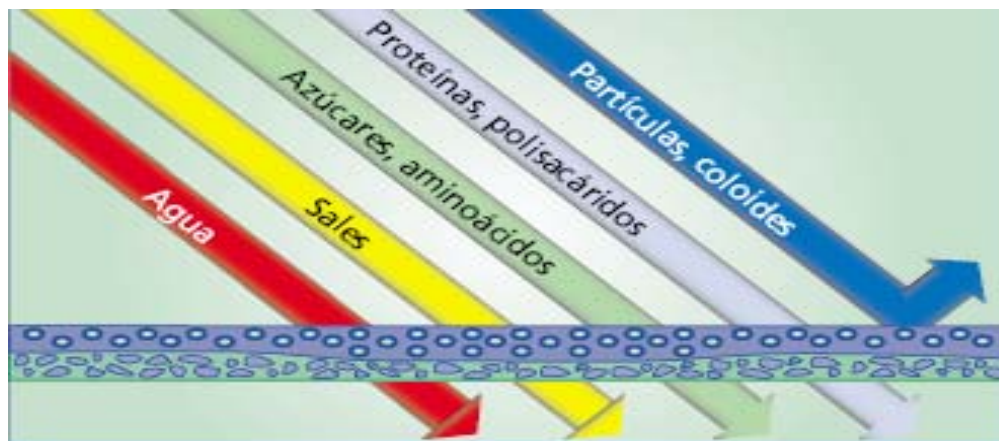


Figura 4. Retención de partículas coloidales por microfiltración (Niro, 2008).

2.3.1.2 Ultrafiltración.

La tecnología de ultrafiltración por membrana, permite retener las proteínas de una solución en una membrana que posee poros muy pequeños ($0.01\mu\text{m}$). Por lo que las membranas de ultrafiltración permiten el paso de agua, sales, azúcares, aminoácidos pero no así el de proteínas y partículas coloides, que quedan retenidas y por lo tanto se concentran con este proceso de ultrafiltración (Pederson y Harold, 1980; Marquardt *et al.*, 1985; Grasselli *et al.*, 1997; Cheryan, 1998; Zydney, 1998; Andrade, 1999; Ramadan y Gyula., 2005) (ver figura 5).

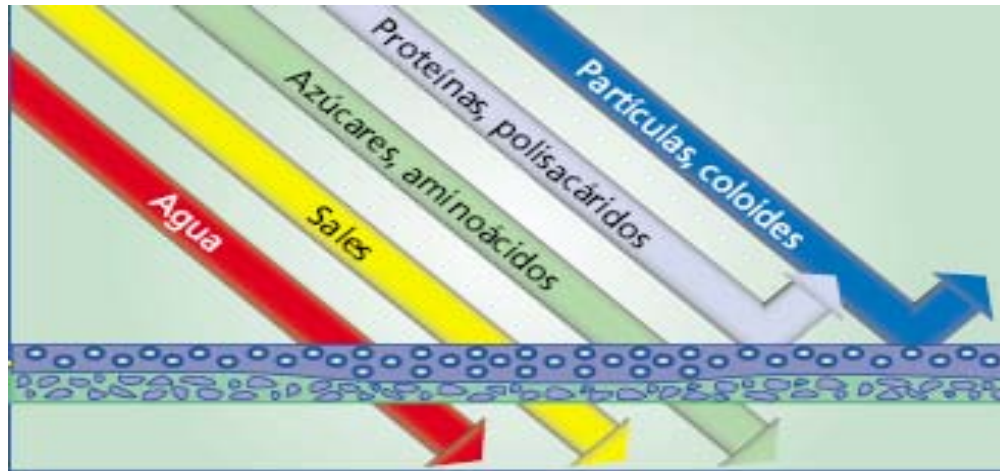


Figura 5. Retención de proteínas por ultrafiltración (Niro, 2008).

Por la simple filtración del suero quedan retenidos por la membrana, los WPC (concentrados de proteínas de suero, por sus siglas en inglés), que pueden contener desde un 15 hasta un 85 % de proteínas. El proceso de ultrafiltración no desnatura las proteínas del suero, por lo que en los WPC sus propiedades funcionales permanecen intactas (Lawrence, 1989; Marquardt *et al.*, 2003).

2.3.1.3 Nanofiltración

La nanofiltración depende de membranas que repelen selectivamente ciertos iones, basándose en la carga que éstos posean según Harper y Muller (1979). Las membranas de nanofiltración permiten el paso de agua, sales, pero no así el de lactosa y aminoácidos, que quedan retenidos y por lo tanto se concentran con este proceso de nanofiltración. El concentrado producido es casi totalmente desmineralizado, sin embargo las membranas para este proceso son complejas e incluyen una película ultra fina formada por condensación en los microporos de polisulfona, lo que las hacen muy costosas (Cuartas *et al.*, 2004) (ver figura 6).

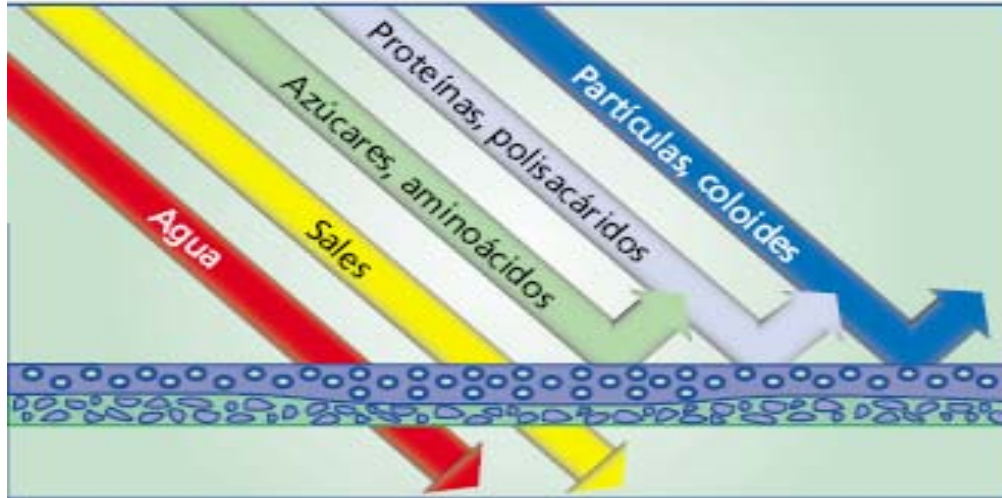


Figura 6. Retención de azúcares y aminoácidos por nanofiltración (Niro, 2008)

2.3.1.4 Ósmosis reversa.

La ósmosis reversa utiliza membranas muy estrechas y altas presiones de operación, por lo que las membranas permiten el paso de agua pero no así las sales, que quedan retenidas y por lo tanto se concentran con este proceso de ósmosis (Harper y Muller, 1979) (ver la figura 7).

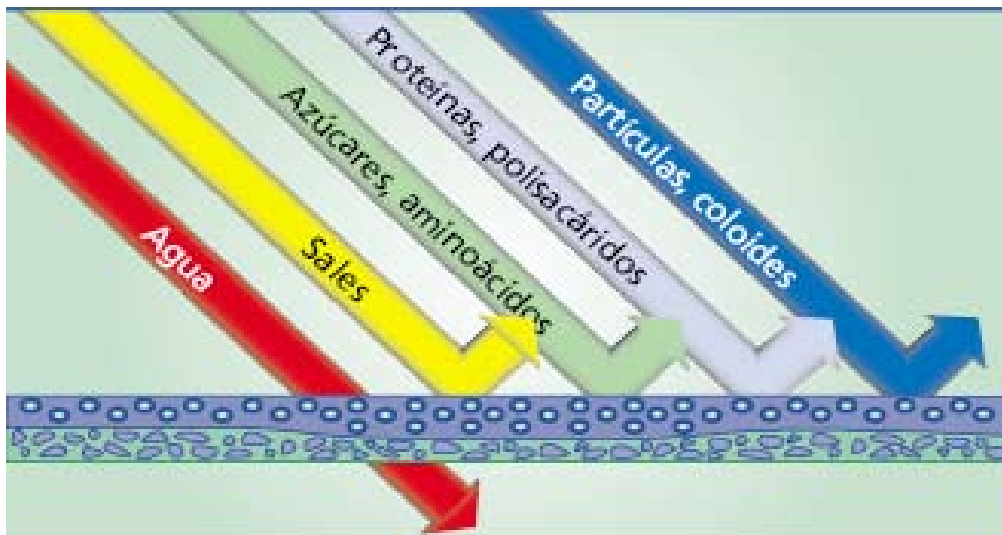


Figura 7. Retención de sales monovalentes por ósmosis reversa (Niro, 2008).

La separación de proteínas de alto y bajo peso molecular, además de los azúcares y minerales que componen el suero de queso; pueden ser separados por las técnicas antes mencionadas (ver tabla 14).

Tabla 14. Tamaño de corte de cada proceso de filtración (Harper y Muller, 1979)

Proceso para concentrar la proteína	Peso molecular retenido	Componentes retenidos
Ósmosis reversa	<0.1 KDa	Todos excepto el agua
Nanofiltración	<0.1 - 1 KDa	Todos excepto el agua y algunos iones
Ultrafiltración	<1 - 100 KDa	Proteínas, lípidos, bacterias
Microfiltración	<100 – 500 KDa	Lípidos, bacterias, proteínas de peso molecular alto

Sin embargo el manejo de las operaciones con membranas reportan algunos problemas técnicos, como son: las membranas se taponan debido a las partículas que quedan suspendidas en el suero y a las fosfolipoproteínas (proteínas unidas a lípidos y fósforo). Esto produce, por un lado, una disminución en el flujo de filtración y, por el otro, la pérdida en la capacidad de formar espuma de los WPC, ya que las fosfolipoproteínas inhiben esta propiedad (Grasselli *et al.*, 1997).

En 1985 el grupo francés dirigido por J. L. Maubois desarrolló un proceso que permite precipitar y separar las fosfolipoproteínas, lo cual deja un suero claro que no taponan los filtros (ver figura 8). Esto se logra simplemente agregando calcio al suero hasta una concentración de 1.2 g de calcio/Kg de suero, ajustando el pH a 7.3 y variando rápidamente la temperatura de 2 a 50 °C (Grasselli *et al.*, 1997).

Otro grupo de trabajo desarrolló un método alternativo para la clarificación del suero, que se basa en la precipitación de las fosfolipoproteínas mediante el uso de polímeros cargados (Grasselli *et al.*, 1997).



Figura 8. Fraccionamiento del suero del queso.

Es decir que el primer paso en el procesamiento del suero de queso es su clarificación por eliminación de las fosfolipoproteínas. El paso siguiente consiste en proceder a la ultrafiltración, pero ahora sin temor a que se tapen las membranas; las proteínas quedan retenidas y pasan los componentes de bajo peso molecular, de manera que se obtiene un líquido filtrado denominado **permeado** rico en sales y lactosa, y un líquido que no pasa a través de la membrana de ultrafiltración llamado **retentado** que es el WPC (Grasselli et al. 1997) (ver figura 8).

El ultrafiltrado es la solución que pasa por la membrana, rica en lactosa, vitaminas y minerales. El concentrado es rico en proteínas, que no atraviesan la membrana. Hung y Zayas (1992) indican que estas proteínas están compuestas por lo menos de cinco elementos: α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, seroalbúmina bovina, inmunoglobulina y péptidos proteicos; los tres primeros componen el 80-90 % del total de las proteínas. Morr y Ha (1987) reportan que este complejo proteico contiene 6.6 % de cenizas y 0.11% de lípidos.

2.3.2 Secado del concentrado de proteínas.

El secado es un proceso de conservación que al eliminar una gran cantidad de agua del alimento impide cualquier actividad microbiana o enzimática. Este proceso surge debido a la necesidad de poder consumir alimentos, que en cierta época del año no se cosechan o producen y que por su composición química son susceptibles a descomponerse (Getler et al., 2000).

En la actualidad los métodos de secado desarrollados tienen gran auge tanto en la industria química y de transformación como en la de alimentos, ya que ofrecen múltiples ventajas tales como: aumentan el tiempo de vida útil del producto, facilitan el manejo del mismo, reducen considerablemente el espacio y costo de almacenamiento del producto y de embarque (Mendoza et al., 2005).

Entre los equipos de secado más comúnmente utilizados se encuentran los secadores de tambor, secadores rotatorios, secador de charolas, de túnel, de banda, de lecho fluidizado y de aspersion, siendo estos últimos los más empleados para el secado de materiales sensibles al calor puesto que se manejan tiempos cortos de operación y altas velocidades de evaporación.

El secado por aspersion es la operación unitaria en la que se transforma la alimentación desde un estado líquido hasta un estado en forma de polvo. El principio de operación consiste en poner el líquido a secar en forma de pequeñísimas gotas en contacto con una corriente de aire caliente en movimiento en forma tal, que el tiempo de interacción gota-aire sea mínimo. Este proceso, por lo tanto es un método casi instantáneo de producir un sólido seco a partir de una alimentación fluída, siendo el aire caliente el medio que suministra el calor necesario para la evaporación y al mismo tiempo el acarreador del agua eliminada (Gutiérrez *et al.*, 2004; Getler *et al.*, 2000).

La operación de secado por aspersion comprende la atomización de la alimentación por medio de boquillas o atomizadores rotatorios para formar una nube de pequeñas gotas; estas gotas al entrar en contacto con un medio caliente, que generalmente es aire, se secan arrastrando en el aire caliente el agua y dejando las partículas libres de humedad, por lo que estas caen y el agua se elimina por la parte superior del equipo de secado (Mendoza *et al.*, 2005).

2.3.3 Usos potenciales del suero

Además del aporte nutrimental del suero, se reportan magníficos beneficios en la elaboración de alimentos, tales como contribuye a la cremosidad, a la textura, a la capacidad de retención de agua, a la opacidad y adhesión dentro de una gran variedad de alimentos (McIntosh *et al.*, 1998; Johnson, 2004).

Así, se ha reportado su uso también en: formulación de leches reconstituidas, en panadería, golosinas, horneados y bebidas y alimento para animales, entre otros (Crossman, 1985; McIntosh *et al.*, 1998; Domínguez 2000; Young, 2005) (ver figura 9).

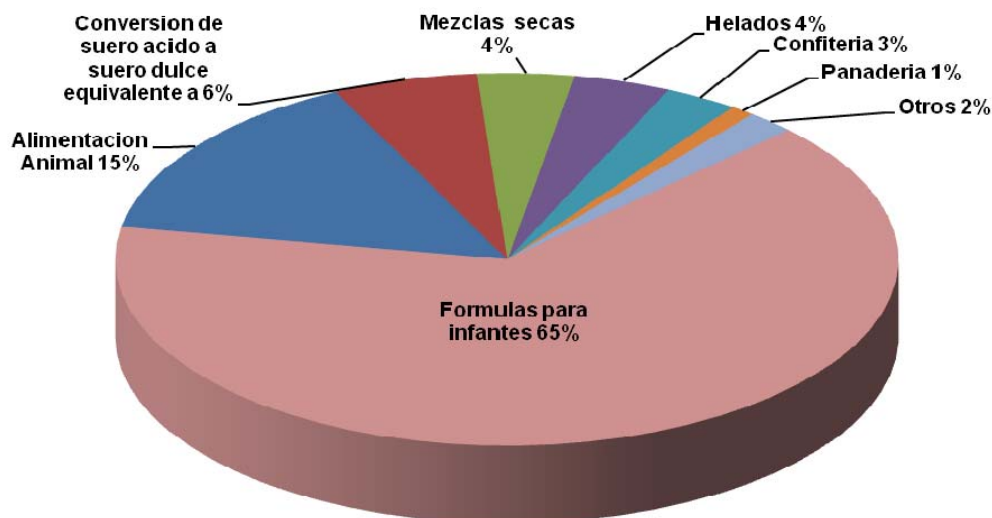


Figura 9. Usos del suero de queso.

A continuación se describen algunos de los usos que se le ha dado en México al suero: a) elaboración de queso ricota, b) preparación de bebidas y c) obtención de suero en polvo.

2.3.3.1 Queso ricota (conocido en México como requesón)

Es un alimento rico en proteínas que se obtiene tanto de la leche entera como del suero sobrante en la fabricación de quesos (Meyer, 1990).

Elaboración de queso ricota a partir de leche.

Para elaborarlo se coagula la leche (entera y pasteurizada) y se retira el suero. La coagulación puede llevarse a cabo por diversos métodos. De éstos, el más común es añadir a la leche una enzima natural que se encuentra en el cuarto estómago de la vaca. En algunos casos, la leche se coagula agregándole un ácido, como el vinagre o los extractos de enzimas vegetales como las de las hojas de higuera. La ricota es un producto de agradables características de sabor y aroma. Las propiedades finales de la ricota dependen, en gran medida, del tipo particular de coagulante utilizado.

La cuajada se puede hacer con cuajo comercial ó con jugo de limón, una vez que se “corta” la leche se coloca dentro de una gasa doble y se deja escurrir toda la noche y al día siguiente ya está hecha la ricota (Meyer, 1990; Artavia, 1999)

Elaboración de queso ricota partir del suero de leche.

Se fabrica como subproducto de la elaboración de quesos, ya que se utiliza el suero de la leche. El procedimiento para la elaboración de queso tipo ricota a partir de suero involucra los siguientes pasos: a) recepción del suero, el cual se debe mantenerse a 22°C mientras no es procesado; esta recepción se termina hasta la separación completa del suero de la cuajada, b) incorporación de leche entera, el objetivo de la incorporación

es el de ajustar el contenido de sólidos para obtener un rendimiento de 7% aproximado, lo cual implica adicionar un 3% de leche entera, c) calentamiento, una vez ajustado el porcentaje de sólidos se procede a calentar hasta 85 °C agitando constantemente, d) adición de ácidos orgánicos, adicionar hasta un 0.2 % de ácidos orgánicos o suero ácido, e) coagulación de la proteína ésta se da por la adición del ácido , f) separación de la ricota que es prácticamente la separación de las proteínas del suero, la cual se realiza con la ayuda de lienzos o filtros, para pasar a la última parte que sería la de almacenamiento, lo cual debe ser a 3 °C. El producto tiene una vida útil de hasta 5 días (Meyer, 1990; Artavia, 1999).

2.3.3.2 Bebidas a partir del lactosuero.

El lactosuero contiene un alto valor nutritivo y tradicionalmente su mayor uso es para la alimentación de cerdos, cuando no se utiliza es un alto contaminante del medio ambiente (Domínguez, 2000; Johnson, 2004; Mariscal *et al.*, 2005).

El aprovechamiento del lactosuero eleva la rentabilidad de la operación de los queseros. La operación más sencilla consiste en hacer bebidas refrescantes con sabor artificial a partir de este, el diagrama para obtenerlo se muestra en el anexo 1.

2.3.3.3 Suero de queso en polvo.

El suero en polvo es producido a partir del suero dulce de la fabricación de quesos, el cual se somete a un proceso de pasteurización, evaporación, cristalización y secado spray, permitiendo con ello extraer parcialmente el agua y a la vez mantener todos los otros constituyentes en la misma proporción relativa contenida en el suero dulce. Se obtiene un polvo color amarillo tenue y uniforme, no higroscópico y prácticamente libre de partículas quemadas visibles, olor y sabor característico (Getler *et al.*, 2000).

El suero en polvo es un producto muy empleado en México en diversas industrias como ya se mencionó anteriormente. Este suero en polvo únicamente se puede adquirir en las siguientes presentaciones comerciales: a) grado alimenticio y b) grado industrial.

Grado alimenticio - Grado extra: Producto indicado para ser usado en forma directa en cualquier alimento de uso humano, incluso en mezclas de polvos sin tratamientos térmicos posteriores (ver tabla 15).

Tabla 15. Especificaciones del suero de queso en polvo grado alimenticio (Milkaut, 2008).

Características nutritivas	Resultado
Humedad libre máxima	2.5 %
Materia libre máxima	1.5 %
Proteína mínimo	12 %
Hidrato de carbono máximo	76.5 %
Cenizas máximo	7.5 %
Ácidez mínima	5 °th
Máxima	9 °th
Recuento total (UFC/g)	10,000
Coliformes (bacterias/g)	10
<i>Staphilococcus aureus</i> (bacterias/g)	10

Grado Industrial: Producto indicado para ser usado en mezclas industriales que son sometidas a un posterior tratamiento térmico y/o a alimentación animal. Se usa para preparaciones y formulaciones alimenticias de primera calidad (ver tabla 16).

Tabla 16. Especificaciones del suero de queso en polvo grado industrial (Milkaut, 2008).

Características nutritivas	Resultado
Humedad libre máxima	1.5 %
Materia libre máxima	1.5 %
Proteína mínimo	12 %
Hidrato de carbono máximo	76.5 %
Cenizas máximo	7.5 %
Ácidez mínima	7.5 °th
Máxima	15 °th
Coliformes (bacterias/g)	100
<i>Staphilococcus aureus</i> (bacterias/ g)	100

El producto se debe transportar y almacenar en un ambiente fresco y seco. No debe ser expuesto a la luz directa del sol ni a olores fuertes. En estas condiciones dura 12 meses (Lechería latina, 2008).

2.4 Espectroscopia FTIR

En la actualidad existen diversos métodos para analizar los componentes de los productos lácteos, son métodos que requieren un proceso de la muestra, ya sea corto o largo, antes de obtener resultados. Las técnicas más utilizadas actualmente para determinar la composición, detectar adulteraciones o encontrar sustancias indeseables son: la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC: High Performance Liquid Chromatography), método espectrofotométrico de ninhidrina acidica (ANSM), electroforesis, espectrofotometría UV/VIS y procedimiento Harland-Ashworth, estos son los más utilizados y/o aceptados por las normas nacionales e internacionales tales como: NOM 091-SSA1-1994, NOM 155-SCFI-2003 y la Comisión de Regulación (EC).

Las técnicas vibracionales permiten obtener espectros característicos que se consideran como la huella digital de los compuestos químicos. La técnica de Espectrofotómetro infrarrojo de Transformada Rápida de Fourier (FTIR), ha sido utilizada para analizar hidrolizados de caseína y proteínas del suero en relación a sus propiedades funcionales, así como para determinar la presencia de suero en leche en polvo (Etzion *et al.*, 2004)

La espectroscopia de infrarrojo es usada de manera rutinaria para el análisis composicional de alimentos. El espectro obtenido con un equipo de FTIR muestra picos de intensidad asociados a los modos fundamentales de vibración de cada enlace molecular presente en la muestra analizada, la presencia e intensidad de este pico nos indica la presencia de una determinada molécula (Jung, 2000).

Los métodos vibracionales han sido previamente aplicados en un amplio rango de problemas reales en la industria alimentaria, por ejemplo en: cereales, leches, carnes, pescados, frutas y vegetales (Mendenhall y Brown, 1991; Jung, 2000; Etzion *et al.*, 2004).

La mayor ventaja de la técnica de espectroscopia de infrarrojo es que usualmente las muestras a analizar no necesitan preparación y hacen que el análisis sea simple y rápido, además de que puede ser realizado en línea. Otra ventaja es que la espectroscopia de infrarrojo permite el análisis de diversos constituyentes en una misma muestra (Jung, 2000).

Los espectros generados por medio de la técnica vibracional FTIR en ocasiones son complejos y difíciles de comparar cuando las diferencias son imperceptibles a simple vista. Una solución a esta desventaja es utilizar métodos multivariable, que permiten el análisis de los datos espectrales mediante técnicas de regresión, los métodos multivariable mas utilizados son: la técnica de mínimos cuadrados parciales y la técnica de regresión de componentes principales (PLS y PCR respectivamente, por sus siglas en ingles) (Haaland y Thomas, 1988; Sivakesava y Urudayaraj 2002).

Para validar el proceso de medición, es necesario el apoyo de técnicas cuantitativas que permiten hacer de la técnica cualitativa FTIR, una técnica cuantitativa también.

Justificación

Nuestro país está pasando por una serie de graves problemas ambientales, dos de los de mayor relevancia son: el mal aprovechamiento de los recursos naturales, que entre otras cosas están ocasionando el deterioro a los suelos agrícolas repercutiendo en la obtención de alimentos y por otro lado, la falta de infraestructura que garantice el tratamiento a todas las aguas de desecho, tanto municipales como industriales. Los investigadores y los recursos humanos que se están formando a nivel posgrado en las distintas instituciones educativas, tienen el enorme compromiso de encaminar sus esfuerzos en la realización de proyectos que apoyen al país a ir solucionando estos y otros muchos problemas de interés tanto nacional como mundial.

Es bien sabido que en México no hay cultura del reciclado y reuso de los desechos, siendo que muchos de ellos pueden ser aprovechados; por ejemplo, los desechos de las empresas de alimentos pueden ser consideradas para estudios que permitan aprovechar la materia orgánica contenida en estos, para diversos fines. Una de las empresas alimenticias que ocasiona mayores problemas de contaminación en México es la industria del queso, y específicamente por el suero. El suero es un subproducto que se obtiene en la elaboración de queso, en una proporción 9 a 1, es decir, de la leche utilizada se obtienen 9 partes de suero y 1 parte de queso. Como no se coagulan todos los componentes de la leche, durante la elaboración de queso, en el suero se eliminan proteínas, lactosa, vitaminas, aminoácidos esenciales y minerales.

Estos componentes son la base de la alimentación humana, por lo que en otros países se ha iniciado ya la explotación y aprovechamiento del suero, hay reportes indicando que las proteínas de este son de las que tienen mayor valor biológico, así, en otros países se fabrican y exportan diversos productos cuya base principal son las proteínas del suero, estos productos se utilizan como materia prima para la elaboración de productos diversos como son: leches reconstituidas, en confitería, panadería, y farmacia entre otras. México esté entre los 10 países mayormente importadores de suero en polvo, y paradójicamente en nuestro país la industria del queso es muy importante, existiendo incluso zonas geográficas donde la población se dedica mayoritariamente a la elaboración de quesos desde varias generaciones atrás, sin embargo, en la mayoría de las empresas nacionales productoras de queso, el suero se desecha, ya que es visto como un desperdicio. Este se elimina ya sea tirándolo en el medio ambiente o enviándolo a las plantas de tratamiento de agua municipales, en ambos casos ocasiona problemas graves de contaminación; si se elimina a cielo abierto su alto contenido de nutrientes lo hace foco de ataques microbianos, por lo que este se descompone fácilmente en el medio ambiente ocasionando malos olores e infecciones, ya que sobre este crecen también patógenos. Cuando el suero es enviado a las plantas de tratamiento de agua municipales, la alta cantidad de materia orgánica que contiene desestabiliza los sistemas de tratamiento biológicos, ya que la materia orgánica disminuye el oxígeno disuelto en el agua, lo que puede ocasionar la muerte de los organismos especializados para el tratamiento de los efluentes y por lo tanto afectando la eficiencia del tratamiento. Un estudio para mejorar un sistema para el tratamiento del

suero no se justificaría, ya que los componentes nutrimentales del mismo seguirían sin aprovecharse, además de que las empresas en lugar de obtener recursos económicos por la elaboración y comercialización del suero tendrían que utilizar parte de sus ingresos en la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo se hizo un estudio del suero proveniente de los quesos que más se producen y consumen en México, como son el queso Oaxaca, panela, aro y rancharo, para definir sus propiedades fisicoquímicas y con base en ellas proponer productos donde se aprovechen los componentes del suero, sobre todo las proteínas y la lactosa, de tal forma que estos se utilicen para la alimentación humana, que es menester encontrar fuentes económicas de nutrientes ante el problema del deterioro de los suelos y la falta de atención al campo. Además para estudiar la forma de obtener un producto similar al suero deshidratado que se comercializa en México y así reducir importaciones, surtiendo entonces al mercado nacional un producto con las características del suero en polvo que se importa, pero a menor precio, ya que al menos se abaratarían los costos por la transportación desde el país de origen hasta los productores nacionales. Para que una empresa pueda decidir su incursión en nuevos mercados, como sería la comercialización de productos elaborados con suero, es muy importante realizar el estudio de factibilidad técnica y económica, por lo que en el presente trabajo se realizaron también estos estudios para que la empresa para la cual se realizó el presente cuente con los elementos científicos, económicos y tecnológicos suficientes para utilizar el suero en pro de la alimentación humana y por el cuidado del medio ambiente.

Hipótesis

El suero de queso de leche de vaca contiene elementos nutrimentales muy importantes que se pueden aprovechar para la formulación de productos de interés comercial.

Objetivos

Objetivo General

Estudiar el suero de queso de leche de vaca para determinar los productos de interés comercial que se pueden obtener a partir del mismo, evaluar su factibilidad técnica y económica y definir el procedimiento para su fabricación.

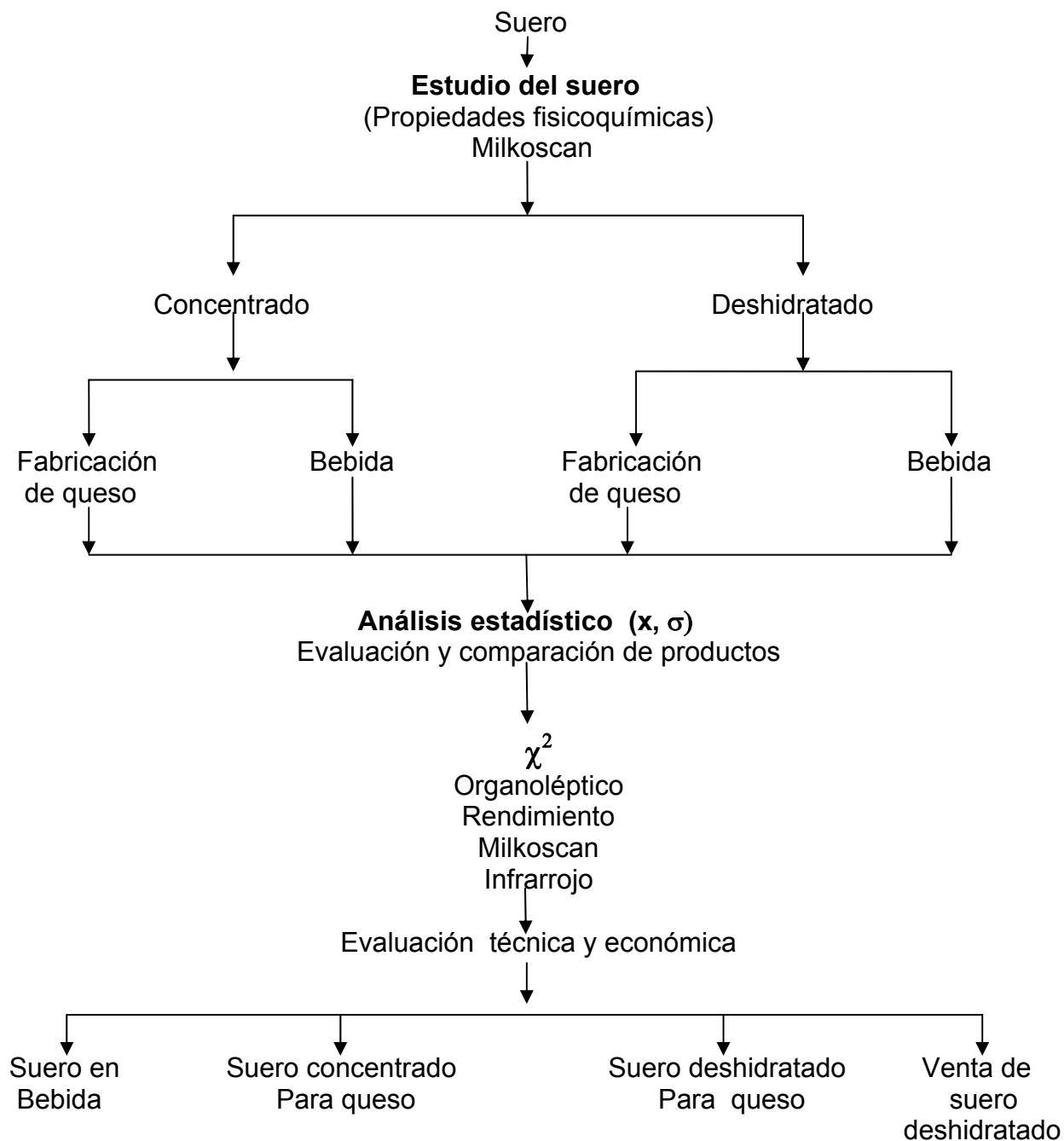
Objetivos Específicos

- Realizar el estudio del suero mediante pruebas fisicoquímicas (% de grasa, % de proteína, % de lactosa, % de ácidos grasos, % de sales minerales, % de sólidos totales y % de humedad) obtenido de la elaboración de diferentes tipos de queso que se producen en la empresa productora de quesos.
- Realizar búsqueda bibliográfica para determinar los productos que se obtienen actualmente a partir del suero.
- Realizar pruebas a nivel laboratorio para concentrar el suero y para deshidratarlo.
- Aplicar el suero concentrados en la elaboración de queso tipo Oaxaca y una bebida con sabor artificial.
- Aplicar el suero deshidratado en la elaboración de queso tipo Oaxaca
- Comparar el suero deshidratado obtenido experimentalmente contra sueros deshidratados y leches en polvo comerciales mediante espectrofotometría FTIR.
- Determinar la factibilidad técnica y económica de la preparación de queso con la adición de suero, obtención de bebida y elaboración de suero deshidratado
- Seleccionar los productos más rentables e indicar las condiciones bajo las cuales se pueden producir en forma industrial.

3. Materiales y Métodos

Para hacer más sencillo el seguimiento de todas las actividades experimentales que se realizaron durante el desarrollo del presente, se elaboró el siguiente diagrama y posteriormente se describe cada una de las etapas.

DIAGRAMA DEL ESTUDIO DEL SUERO PARA LA EMPRESA PRODUCTORA DE QUESOS.



3.1 Caracterización fisicoquímica del suero.

Se analizaron muestras de suero de 8 lotes diferentes de producción de la empresa productora de quesos, tanto de queso Oaxaca, panela, rancho y aro para determinar los siguientes parámetros del subproducto: temperatura, apariencia, pH, % grasa, % proteína, % lactosa, % de sales minerales, % de sólidos no grasos, % de sólidos totales y % humedad. Las muestras se tomaron en la empresa, se almacenaron en refrigeración y se transportaron al CIBA para su análisis.

Los análisis se realizaron con el siguiente equipo y acorde con los manuales de operación de cada uno.

Para el estudio del suero y de los productos que se elaboraron se empleó el analizador de lácteos milkoscan S-54B (ver figura 10), así también el espectrofotómetro FTIR Bruker, modelo. Vertex 70 (ver figura 15) y el potenciómetro marca ORION, modelo 410A.



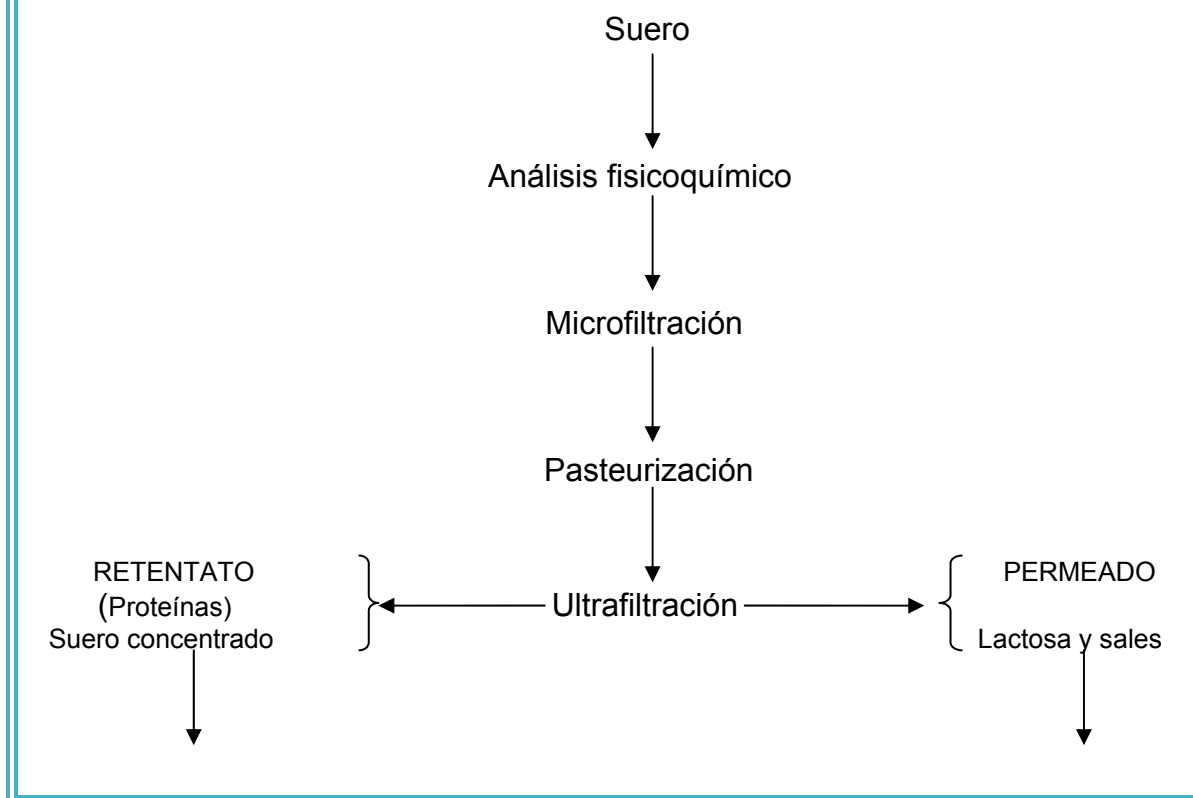
Figura 10. Analizador de lácteos Milkoscan S-54B

3.2 Obtención de suero concentrado de la empresa productora de quesos.

La concentración de las proteínas del suero se realizó considerando únicamente el suero proveniente de la fabricación de queso tipo Oaxaca ya que este representa el 90% de la producción de la empresa, por lo que se tomó a este como caso del presente estudio.

El proceso para obtener suero concentrado se describe en el siguiente diagrama.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL CONCENTRADO DE SUERO DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE QUESOS



A continuación se describe la metodología seguida en cada etapa indicada anteriormente para concentrar el suero.

3.2.1 Pasteurización del suero.

Se realizó mediante la técnica de pasteurización rápida que consiste en calentar el suero a una temperatura de 72 °C, se mantuvo a esta temperatura por 15 segundos y posteriormente fue enfriado rápidamente hasta una temperatura de 15 °C.

3.2.2 Microfiltración del suero.

Esta se realizó con un filtro termo sellado de tamaño de poro de 11 micras, con el fin de retener sólidos mayores a este diámetro de poro.

3.2.3 Ultrafiltración a nivel laboratorio.

Una vez pasteurizado y microfiltrado el suero, se procedió a ultrafiltrar en un equipo millipore de UF del Ciba Tlaxcala, con agitación magnética del tipo TFF, membranas con tamaño de corte de 10 y 1 KD y un volumen útil de 2.5 L. Se variaron las condiciones

de operación como fue velocidad de agitación y presión de operación para reducir el tiempo de procesado.

La figura 11 muestra el equipo de ultrafiltración en operación en el cual se realizaron las pruebas a nivel laboratorio.



Figura 11. Equipo de Ultrafiltración, de alto rendimiento con agitación del tipo TFF de Millipore.

3.2.4 Ultrafiltrado a nivel planta piloto

Se realizó en un equipo multi-etapas de RO, UF “NIRO” de la Universidad Iberoamericana campus Puebla, bajo las condiciones de operación siguientes presión de entrada a la membrana 5.5. Kg/cm², flujo de concentrado 9.31 L/seg, presión de planta piloto 53.4 lb/in², temperatura 25 – 45 °C, presión de aire 80 psig y tamaño de corte en membrana de 10 KDa, el equipo se puede observar en la figura 12.



Figura 12. Equipo de Ultrafiltración a nivel planta piloto “Niro”.

3.2.5 Nanofiltración a nivel planta piloto

Esta prueba fue realizada en un equipo piloto para nanofiltración marca “CETA” propiedad del Centro Especializado de Tecnología Aplicada S.A. de C.V. bajo las condiciones siguientes: flujo 1.2 Lpm, presión de 100 psi, temperatura 35 °C, tamaño de poro en membrana 0.2 KDa; el equipo se puede observar en la figura 13.



Figura 13. Equipo de Nanofiltración a nivel planta piloto “CETA”.

3.3 Obtención de suero deshidratado de la empresa productora de quesos.

El suero concentrado obtenido en la planta piloto fue secado por el proceso de aspersión en la empresa FALANX S.A. de C.V. ubicada en Huejotzingo Puebla. La figura 14 es del equipo usado un secador comercial del tipo spray dryer.



Figura 14. Secador por aspersión Spray dryer “Galaxi Argentina”.

El equipo utilizado para esta prueba de secado esta fabricado en acero inoxidable tipo 304 (todas las partes en contacto con el producto). Acabados sanitarios suficientes para garantizar inocuidad en el proceso.

Las condiciones de operación fueron: temperatura de aire de entrada mínima 200°C y de salida aproximadamente 80°C, con una capacidad de evaporación de 250 L/hr, para obtener producto terminado en polvo a temperatura ambiente y con porcentajes de humedad aproximados al 3 %.

3.4 Mediciones por espectroscopia infrarroja ATR-FTIR.

En este proyecto se uso una metodología alternativa instrumental a los métodos tradicionales de análisis, basada en espectroscopia de infrarroja; la cual permite evaluar de una manera rápida, práctica y eficiente la composición, presencia de sustancias indeseables o adulteración de productos lácteos.

Las mediciones en el Infrarrojo fueron realizadas mediante el modo de muestreo por Reflectancia Total Atenuada (ATR), utilizando un Espectrofotómetro infrarrojo de Transformada Rápida de Fourier (FTIR) marca BRUKER modelo VERTEX 70, en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN), el cual se puede observar en la figura 15.



Figura 15. Espectrómetro Infrarrojo de Transformada Rápida de Fourier (FTIR) marca BRUKER modelo VERTEX 70.

El modo de muestreo por ATR implica el contacto directo de la muestra de leche, suero, etc., sobre un cristal de Selenuro de Zinc (ZnSe) mismo que sirve para propagar la luz infrarroja sobre este y la muestra.

Para realizar las mediciones (ATR-FTIR) se mide primeramente la reflectancia de referencia (la del cristal de ZnSe solo). Esto sirve para registrar la reflectancia asociada al sistema. Posteriormente se mide la reflectancia de la muestra colocando ésta sobre el cristal y el sistema elimina de esta medición la señal asociada a la referencia de ZnSe, quedándose solamente con la reflectancia de la muestra. Finalmente se obtienen los espectros ATR-FTIR asociados a las vibraciones de los diferentes grupos funcionales de la estructura química de la muestra a analizar.

3.5 Formulación de productos con suero concentrado de la empresa productora de quesos.

3.5.1 Formulación de queso tipo Oaxaca con la adición de suero concentrado y leche fresca.

Todo el trabajo que se realizó fue con la finalidad de que los procesos para lograr los resultados mejores se implemente en la empresa, por lo que se realizaron pruebas en las cuales siempre se tuvieron presentes los siguientes aspectos: a) no variar sustancialmente los procesos ni las condiciones de operación de elaboración del Queso tipo Oaxaca que se siguen en la empresa, solo buscar la incorporación de suero concentrado y en polvo para aumentar el rendimiento y b) mantener las propiedades organolépticas del Queso tipo Oaxaca producido en la empresa para garantizar la aceptación del nuevo producto por sus clientes. El proceso establecido en la empresa productora de quesos para elaborar queso tipo Oaxaca consta de diversas etapas, el diagrama se muestra en el anexo 1.

Se analizaron 10 muestras de leche de diferentes lotes con ayuda del milkoscan, a temperatura de 30 °C determinándose los siguientes parámetros: % de proteína, % grasa, % de lactosa y % sólidos no grasos, con el fin de estandarizar el porcentaje de grasa entre 2.9-3.2 y la acidez entre 16-17 de la leche a procesar para el queso tipo Oaxaca. Posteriormente se preparó queso tipo Oaxaca siguiendo el procedimiento descrito en el diagrama del anexo 1 y con la adición de las siguientes cantidades de suero (ver tabla 17).

Las muestras fueron de 4 litros en total y fueron procesadas de manera similar al procedimiento de elaboración de queso tipo Oaxaca adoptado por la empresa productora de quesos. Una vez formulado el queso se determinó el rendimiento a cada una de las formulaciones realizadas, se hizo el análisis organoléptico y se observó su facilidad de procesado.

Tabla 17. Formulaciones probadas para la incorporación de suero concentrado en la elaboración de queso tipo Oaxaca.

Suero concentrado adicionado por muestra en litros	Cantidad de leche para cada formulación en litros	Número de repeticiones
0.00	4.00	3
0.20	3.80	3
0.28	3.72	1
0.32	3.68	1
0.40	3.60	8
0.48	3.52	1
0.50	3.50	1
0.60	3.40	1
0.76	3.24	1
0.80	3.20	1

- Prueba organoléptica del queso formulado con adición de suero concentrado.

Para el análisis organoléptico se tomó un grupo de 15 panelistas externos: personal administrativo del CIBA diez y cinco personas de la empresa; las cuales degustaron el queso formulado con la adición de suero concentrado, para esto se numeraron las muestras a catar, los parámetros a evaluar fueron: color, apariencia, consistencia, textura y sabor. Los resultados se analizaron con herramientas estadísticas apropiadas (análisis de la chi cuadrada)

3.5.2 Formulación de queso tipo Oaxaca con suero en polvo y leche fresca.

En la empresa productora de quesos se utiliza también leche en polvo para la fabricación de queso tipo Oaxaca; misma es importada principalmente de Estados Unidos, por lo cual se realizan pruebas para obtener el suero en polvo y después aplicarlo a la producción de más queso en sustitución de la leche en polvo.

Este experimento se realizó para determinar si el suero en polvo puede sustituir a la leche en polvo. Las cantidades de suero en polvo que se usaron con leche fresca para elaborar queso tipo Oaxaca fueron 0, 0.25, 0.5 y 1% estos valores se consideraron según el proceso de la empresa productora de quesos (ver tabla 18).

Tabla 18. Formulaciones experimentales para la incorporación de suero en polvo en la elaboración de queso tipo Oaxaca

% de suero en polvo adicionado	Volumen de leche fresca utilizada (L)	Número de repeticiones
0.00	4	2
0.25	4	2
0.50	4	2
1.00	4	2

Las muestras fueron procesadas de manera similar al procedimiento de elaboración de queso tipo Oaxaca adoptado por la empresa productora de quesos. Una vez formulado el queso se determinó el rendimiento y se realizaron las pruebas organolépticas a cada una de las formulaciones realizadas, se observó la facilidad de procesado para cada formulación.

- Prueba organoléptica del queso formulado con adición de suero en polvo y leche fresca.

Para el análisis organoléptico se tomo un grupo de 10 panelistas externos: personal administrativo del CIBA siete y tres personas de la empresa; las cuales degustaron el queso formulado con la adición de suero en polvo, para esto se numeraron las muestras a catar, los parámetros a evaluar fueron: color, apariencia, consistencia, textura y sabor. Los resultados se analizaron estadísticamente.

3.5.3 Formulación de una bebida a base de suero de quesería.

La elaboración de la bebida se realizó con el suero previamente analizado, se pasteurizó bajo las condiciones de pasteurización rápida, calentando a 72 °C por 15 s, para posteriormente enfriarlo rápidamente a temperatura de 15 °C, consecutivamente se adicionaron 2 % en peso de chocolate comercial en polvo y el azúcar necesario para dar el sabor adecuado.

- Prueba organoléptica de la bebida formulada con suero y sabor artificial.

A esta producto se le realizó un análisis sensorial entre una población de 100 niños en la expo de la ciencia celebrada en el estado de Tlaxcala en 2007, los parámetros evaluados fueron: color, apariencia y sabor.

3.6 Análisis de la DQO

El análisis de DQO se realizó en el reactor HACH modelo 45600, el cual es un incubador de baño seco de 25 alveolos para incubar muestras de prueba que contienen materiales peligrosos (ácido sulfúrico y sales de mercurio) a una temperatura de 150 °C necesaria para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO), está provisto de un ajuste de hora el cual es de 2 horas.

El método utilizado fue el de digestión de dicromato, aprobado por la USEPA para el análisis de aguas residuales, el procedimiento de análisis fue el siguiente con una pipeta se añaden 0.2 mL de la muestra problema a tubos con los reactivos medidos previamente, que incluyen los catalizadores y el compensador de cloruro. Los tubos se incuban a 150 °C por dos horas y a continuación se dejan enfriar. Posteriormente se tomaron lecturas en el espectrofotómetro UV-Visible para calcular la DQO.

El análisis de DQO se realizó al permeado de la ultrafiltración y el permeado de la nanofiltración para definir si el efluente final cumple con los parámetros permisibles que establece la norma NOM-001-ECOL 1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

3.7 Análisis de factibilidad técnica y económica.

Para concluir cuál de los productos estudiados en la presente es el más recomendable para que se lleve a cabo su fabricación y comercialización por parte de la empresa, se realizó el estudio de factibilidad técnica y económica para cada uno de los productos estudiados, que para este caso fueron: a) obtención de suero concentrado, b) uso del suero concentrado para elaborar queso tipo Oaxaca, c) obtención de suero deshidratado, d) uso del suero deshidratado para la elaboración de queso tipo Oaxaca y e) formulación de bebida a base de suero.

El análisis económico se realizó con una hoja de cálculo, proporcionada por el Lic. Oswaldo Rodríguez Arreola; donde los datos finos para el análisis fueron: volumen de suero a procesar, inversiones en equipo, costos de producción y precio de venta.

4. Resultados y Discusión

4.1 Caracterización fisicoquímica del suero.

El primer paso experimental que se realizó en el presente trabajo fue el estudio del suero para definir la composición de este y evaluar la conveniencia de recuperar las proteínas y la lactosa del mismo, para su uso en diversos productos comercializables. Para ello se evaluaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, % de grasa, % de proteína, % de lactosa, % de sólidos minerales, % de sólidos no grasos y % de sólidos totales. Este estudio se realizó para los sueros de los diferentes quesos, se determinó que en promedio se eliminan con el suero 1.25 gr/L de proteína y 5 gr/L de lactosa cantidades suficientes para justificar la recuperación de los mismos (ver tabla 19).

Se puede observar que las variaciones en cada parámetro son pequeñas, lo cual es indicativo de que los sueros de los cuatro tipos de quesos son similares y que en la empresa tiene bien definido y dominado el proceso de elaboración de queso, por lo que en el suero lo eliminan siempre con cantidades similares de proteína y de lactosa, este punto es muy importante para asegurar que la calidad del suero será controlable y por lo tanto la calidad del producto final que se vaya a formular con el suero partirá de materias primas consistentes (ver figura 16).

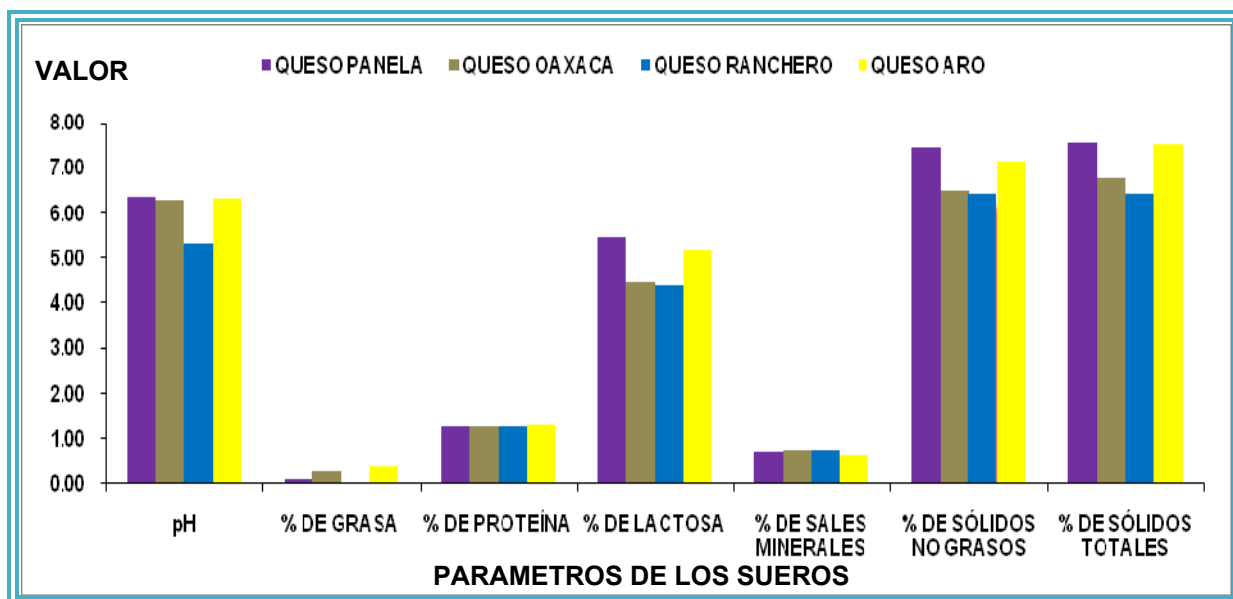


Figura 16. Análisis promedio de los sueros de la empresa productora de quesos.

Tabla 19. Caracterización fisicoquímica del suero.

RESULTADOS DE ANÁLISIS PROMEDIO DE LOS SUEROS DEL QUESO PANELA, OAXACA, RANCHERO Y ARO				
Tipo de suero	Suero del queso panela	Suero del queso Oaxaca	Suero del queso ranchero	Suero del queso aro
Parámetro				
Temperatura	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C
Apariencia	Líquido verdoso opalescente	Líquido Amarillo paja opalescente	Líquido claro verdoso	Líquido Amarillo paja opalescente
pH	6.36 ± 0.150	6.30 ± 0.124	5.41 ± 0.120	6.33 ± 0.075
% de grasa	0.11 ± 0.016	0.29 ± 0.062	0 ± 0	0.37 ± 0.079
% de proteína	1.26 ± 0.018	1.25 ± 0.029	1.25 ± 0.007	1.30 ± 0.066
% de lactosa	5.48 ± 0.087	4.48 ± 0.047	4.4 ± 0	5.20 ± 0.210
% de sales minerales	0.72 ± 0.09	0.75 ± 0.004	0.78 ± 0.035	0.66 ± 0.110
% de sólidos no grasos	7.46 ± 0.068	6.47 ± 0.038	6.43 ± 0.028	7.16 ± 0.378
% de sólidos totales	7.57 ± 0.069	6.76 ± 0.049	6.43 ± 0.028	7.53 ± 0.425
% de humedad	92.43 ± 0.069	93.24 ± 0.049	93.57 ± 0.028	92.47 ± 0.425

Los resultados obtenidos del estudio de los sueros provenientes de los cuatro tipos de queso que se formulan en la empresa, realizado mediante el análisis fisicoquímico, de los parámetros arriba anotados, indican que el suero que se obtiene corresponde a las características de un suero dulce, según los parámetros que indica Armstrong, 1986 (ver tabla 11).

El producto que se estudió entonces en el presente trabajo es un suero dulce, considerando la semejanza de los resultados con los reportados en la literatura y por el tipo de procesado que se sigue en la empresa para la elaboración del queso. Esta definición de suero dulce es muy importante ya que este es más comercializable que el suero ácido, por lo que los productos que se propusieron fabricar con la adición de suero serán más aceptables en el mercado.

4.2 Obtención de suero concentrado proveniente de la empresa productora de quesos.

Una vez caracterizado y definido el tipo de suero con el que se trabajó en el presente, se procedió a concentrar las proteínas del suero, esta concentración se realizó empleando una membrana de ultrafiltración. Se eligió esta operación de ultrafiltrado debido a que las proteínas del suero, al igual que la generalidad de las proteínas son termolábiles por lo que operaciones que implican el calentamiento para realizar la concentración de las mismas no es conveniente, ya que las puede desnaturalizar. En el caso de la ultrafiltración sólo es una separación mecánica por peso molecular por lo que el daño a las mismas es mínimo. A continuación se describen los resultados obtenidos después de ultrafiltrar el suero.

4.2.1 Ultrafiltración.

La ultrafiltración se realizó con una membrana de corte de 10 KDa, por lo que fue posible separar el suero en dos fracciones. Estas se analizaron en Milkoscan y se determinó que, con el proceso de ultrafiltración del suero, las dos fracciones obtenidas fueron: una que es el retentado, este presentó un contenido de proteínas del 2.6 % V y la otra fracción fue el permeado, esta fracción se caracterizó por que fue rica en lactosa, con un 4 % V de dicho azúcar. Los análisis detallados de esta operación de ultrafiltración que se efectuó a nivel laboratorio y posteriormente a nivel planta piloto, se describen a continuación:

4.2.1.1 Ultrafiltración a nivel laboratorio.

Después de la ultrafiltración se observa que las proteínas del suero se concentraron en promedio del 1.346 % V al 2.66 % V, es decir se duplicó su concentración; por el tamaño de corte, se concentraron también las grasas, estas variaron del 0.254 % V, al 1.078 % V en la fracción del retentado, trayendo como consecuencia que los sólidos totales incrementaran del 6.554 % V al 9.228 % V (ver tabla 20), estos parámetros

indican que la composición del suero concentrado es próxima a la de la leche por lo que teóricamente es viable el uso del suero para la elaboración de más queso.

Tabla 20. Resultados de las características fisicoquímicas del suero procesado en la Ultrafiltración.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	PROMEDIO	σ
SUERO CRUDO							
PH	5.94	5.53	6.28	5.13	6.25	5.826	0.4927
% DE GRASA	0.12	0.36	0.27	0.37	0.15	0.254	0.1159
% DE PROTEINA	1.05	1.69	1.37	1.39	1.23	1.346	0.2355
% DE LACTOSA	3.65	4.27	4.46	4.24	4.46	4.216	0.3328
% DE SOLIDOS NO GRASOS	5.46	6.74	6.57	6.39	6.34	6.3	0.4954
% SALES MINERALES	0.76	0.78	0.74	0.76	0.65	0.738	0.0512
% DE SOLIDOS	5.58	7.1	6.84	6.76	6.49	6.554	0.5863
% HUMEDAD	94.42	92.9	93.16	93.24	93.51	93.446	0.5863
SUERO CONCENTRADO							
PH	5.48	6.14	5.89	5.03	6.32	5.772	0.5209
% DE GRASA	0.94	1.26	1.02	1.17	1	1.078	0.1324
% DE PROTEINA	2.59	2.85	2.89	2.72	2.25	2.66	0.2577
% DE LACTOSA	4.3	4.96	4.87	4.71	4.51	4.67	0.2684
% DE SOLIDOS NO GRASOS	7.72	8.63	8.58	8.26	7.56	8.15	0.4900
% S.MINERALES	0.83	0.82	0.82	0.83	0.8	0.82	0.0122
% DE SOLIDOS	8.66	9.89	9.6	9.43	8.56	9.228	0.5887
% HUMEDAD	91.34	90.11	90.4	90.57	91.44	90.772	0.5887
PERMEADO DEL SUERO							
PH	5.8	5.97	5.99	4.91	6.27	5.788	0.5190
% DE GRASA	0	0	0	0	0	0	0
% DE PROTEINA	0.74	0.78	0.73	0.82	0.59	0.732	0.0870
% DE LACTOSA	3.61	4.59	4.07	3.68	4.46	4.082	0.4431
% DE SOLIDOS NO GRASOS	5.09	6.08	5.52	5.24	5.76	5.538	0.3978
% S.MINERALES	0.74	0.71	0.72	0.74	0.71	0.724	0.0152
% DE SOLIDOS	5.09	6.08	5.52	5.24	5.76	5.538	0.3978
% HUMEDAD	94.91	93.92	94.48	94.76	94.24	94.462	0.3978

Al graficar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de todas las muestras obtenidas del suero crudo, del suero concentrado y del permeado, se puede observar que estas se obtuvieron con una desviación estándar baja, es decir el proceso fue reproducible. La ultrafiltración es una buena alternativa para obtener concentrados de suero con características similares en todos los lotes de producción que se procesen, (ver figura 16).

Es muy importante para la obtención de suero concentrado el analizar cómo afectan las variables de proceso, en este caso se estudiaron dos variables: a) velocidad de agitación y b) presión de operación. Estos se estudiaron en dos niveles, para la velocidad se operó a 400 y 800 rpm, mientras que para la presión de operación esta se trabajó a 60 y posteriormente a 70 lb/in².

Operando el equipo de ultrafiltración a nivel laboratorio a 800 rpm y 70 lb/in² se obtuvo el mismo contenido de proteína pero a 10.5 horas, comparado con utilizar como condiciones de operación 400 rpm y 60 lb/in² donde se requirió de 16 horas.

Al aumentar la velocidad y la presión de operación del equipo se disminuyó el tiempo de operación del mismo; alcanzando aproximadamente la misma concentración de proteína y la diferencia de tiempo fue de 5.5 hrs variando las condiciones de operación del proceso del mismo equipo, por lo cual se decidió concentrar el suero en las subsiguientes pruebas a una velocidad de agitación de 800 rpm y a una presión de 70 lb/in² (usando como gas inerte nitrógeno), esto permitió abatir el tiempo de uso del equipo además de estandarizar el proceso de ultrafiltración (ver tabla 21).

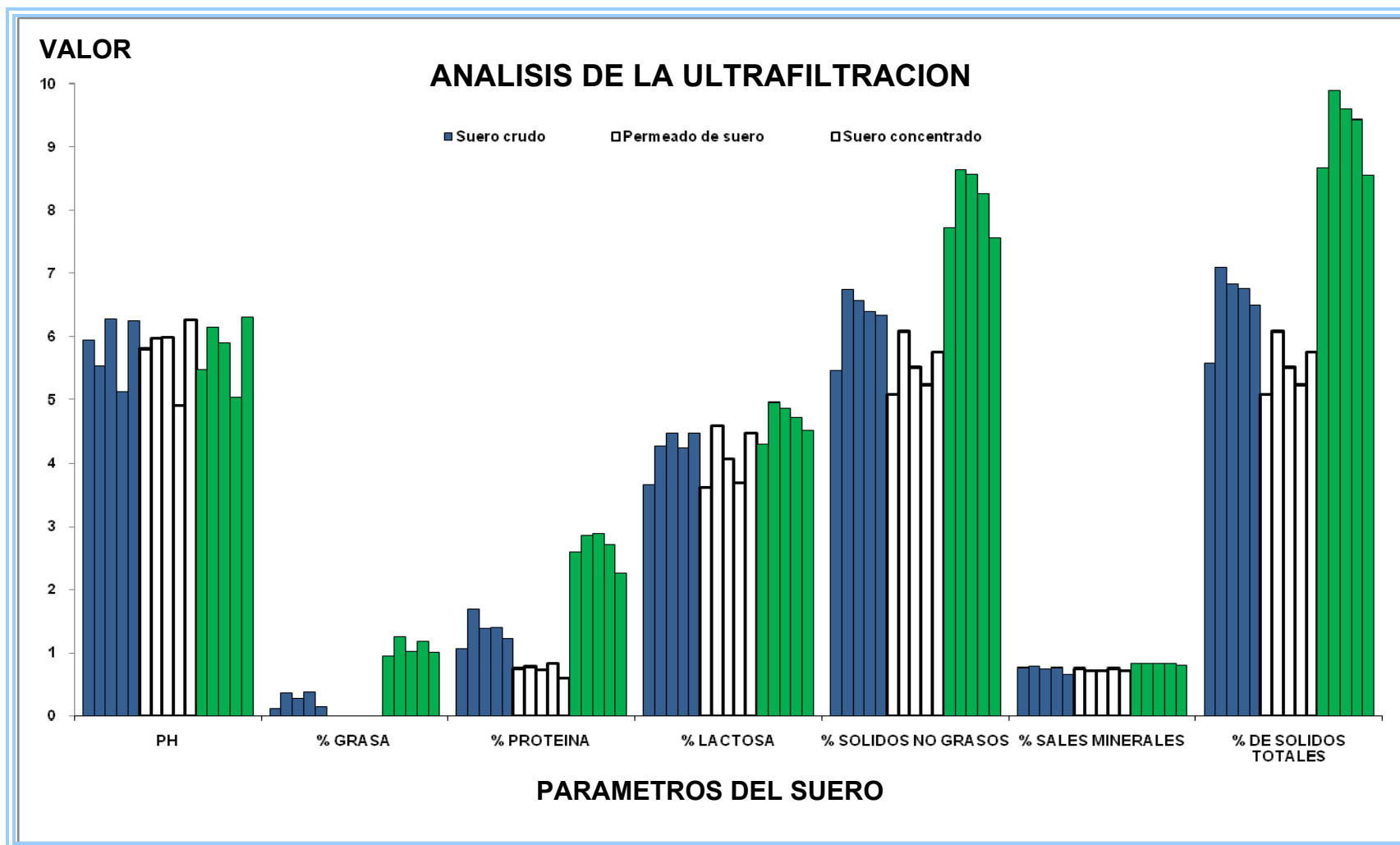


Figura 16. Concentración del suero a nivel laboratorio (Ultrafiltración)

Tabla 21. Condiciones de operación de la ultrafiltración a nivel laboratorio.

Tiempo de ultrafiltrado (hr)	Volumen (L)	Velocidad de agitación (rpm)	Presión de operación (lb/in ²)	Flujo de permeado (ml/hr)	PARAMETROS DE LA ULTRAFILTRACION							
					pH	% DE GRASA	% DE PROTEINA	% DE LACTOSA	% DE SOLIDOS NO GRASOS	% DE SALES MINERALES	% DE SOLIDOS TOTALES	% DE HUMEDAD
0 hrs	3.0	400	60	0	6.57	0.24	1.24	4.52	6.51	0.75	6.75	93.25
16 hrs	0.9	400	60	162.5	6.02	1.37	2.55	4.63	8.00	0.82	9.37	90.63
0 hrs	4.2	800	70	0	6.25	0.15	1.23	4.46	6.43	0.65	6.49	93.51
10.5 hrs	1.5	800	70	257	6.32	1	2.25	4.51	7.56	0.8	8.56	91.44

4.2.1.2 Ultrafiltración a nivel planta piloto.

Una vez estudiado el comportamiento del sistema de ultrafiltración a nivel laboratorio, se procedió a hacer las pruebas a nivel planta piloto, con dos objetivos principales, escalar el proceso para verificar que se puede obtener el suero concentrado con equipos mayores y con características similares a las obtenidas a nivel laboratorio y para obtener una cantidad adecuada de suero concentrado para poderlo llevar al proceso de secado por aspersión a nivel planta piloto. Al realizar la prueba de ultrafiltración a nivel planta piloto se encontró que se retuvo el total de la grasa presente en el suero crudo y se incrementó hasta un 6.2 veces la concentración de la proteína inicial (1.25%), mientras que la cantidad de lactosa se incrementó en tan solo un 15% de acuerdo con la cantidad inicial (ver tabla 22).

Tabla 22. Análisis de suero Ultrafiltrado en equipo piloto propiedad de Universidad Iberoamericana Campus Puebla

PROCESO DE CONCENTRACION DEL SUERO POR ULTRAFILTRACION

HORA	TEMPERATURA	APARIENCIA	pH	% DE GRASA	% DE PROTEÍNA	% DE LACTOSA	% DE SALES MINERALES	% DE SÓLIDOS NO GRASOS	% DE SÓLIDOS TOTALES	% DE HUMEDAD
07:00	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	0.29	1.25	4.48	0.74	6.47	6.76	93.24
08:00	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	0.29	2.39	4.34	0.81	7.54	7.83	92.17
09:30	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	0.66	3.87	5.08	0.89	9.84	10.5	89.5
15:45	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	0.91	4.44	5.5	0.86	10.8	11.71	88.29
16:00	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	1.08	4.88	5.43	0.94	11.25	12.33	87.67
17:30	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	1.77	6.91	5.37	1.06	13.34	15.11	84.89
18:30	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	2.06	7.69	5.24	1.13	14.06	16.12	83.88
19:00	25° C	LIQUIDO AMARILLO OPALESCENTE	6	2.09	7.79	5.25	1.12	14.16	16.25	83.75

PERMEADO DE SUERO

HORA	TEMPERATURA	APARIENCIA	pH	% DE GRASA	% DE PROTEÍNA	% DE LACTOSA	% DE SALES MINERALES	% DE SÓLIDOS NO GRASOS	% DE SÓLIDOS TOTALES	% DE HUMEDAD
08:00	25° C	LIQUIDO TRANSPARENTE	6	0.04	0.68	3.17	0.77	4.9	4.94	95.06
15:45	25° C	LIQUIDO TRANSPARENTE	6	0.24	1.17	4.23	0.75	6.15	6.39	93.61
18:30	25° C	LIQUIDO TRANSPARENTE	6	0.25	1.15	4.5	0.75	6.4	6.65	93.35

Es importante evaluar gráficamente los procesos, ya que esto permite comprender mejor como se llevaron a cabo. Para la ultrafiltración realizada a nivel planta piloto se fueron tomando muestras del suero y evaluando los parámetros fisicoquímicos: pH, % lactosa, % proteína, % grasa, % de sólidos no grasos, % de sólidos totales y % de humedad con el tiempo. Como lo más importante de estos es el contenido de proteína, por el valor nutricional de este componente, se presenta la variación de la proteína durante el proceso de ultrafiltración con el tiempo, tanto del permeado como del concentrado. Como es de esperarse, en la corriente de concentrado se va observando un aumento gradual en la concentración de las proteínas, de tal forma que al inicio se partió del 1.25 % y al final este fue del 7.79 %. Mientras que en la corriente del permeado este parámetro también fue sufriendo cambios pero de menor magnitud, así de iniciar con 0.68 % de proteína se concluyó el proceso de ultrafiltración con 1.15 % de proteína en dicha corriente (ver figura 17).

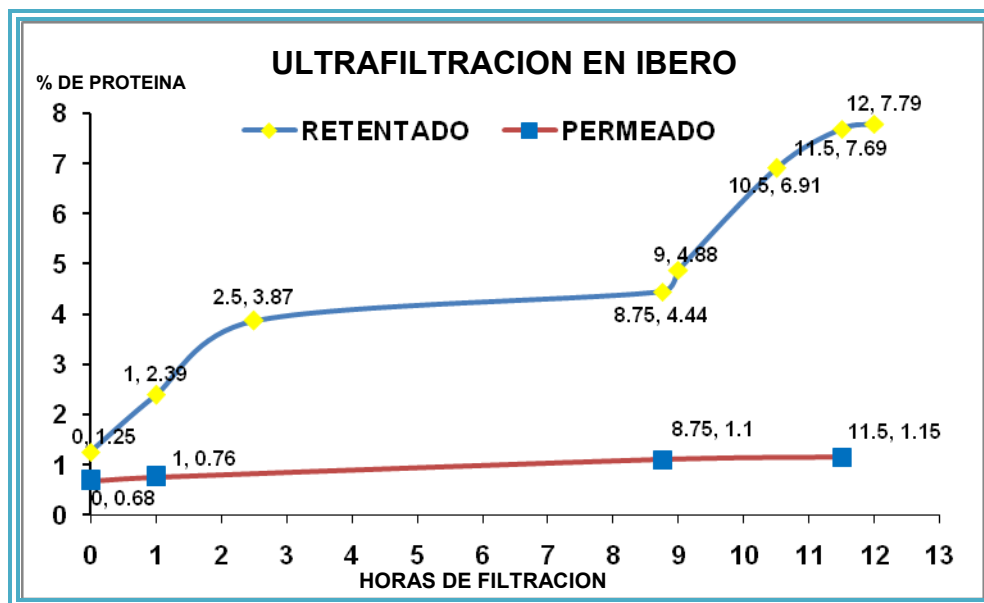


Figura 17. Comportamiento de la ultrafiltración a nivel piloto llevada a cabo en Universidad Iberoamericana campus Puebla.

Con el uso de la planta piloto de ultrafiltración, para la concentración del suero se alcanzó 7.79 % de proteína en 12 hrs de filtración; la cantidad de sólidos iniciales para el proceso de secado es un factor muy importante para secarse por aspersion, el suero concentrado tuvo un valor de sólidos totales del 17.5%, adecuado para ser secado en un equipo a nivel industrial.

Las condiciones de operación bajo las cuales se obtuvo el suero concentrado a nivel planta piloto y con el uso del equipo de ultrafiltración de la Universidad Iberoamericana campus Puebla se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. Condiciones de operación de la ultrafiltración a nivel piloto.

PARAMETROS DE LA ULTRAFILTRACION												
Tiempo de ultrafiltrado (hr)	Volumen (L)	Presión de membrana (kg/cm ²)	Presión de operación (lb/in ²)	Flujo de permeado (L/seg)	pH	% DE GRASA	% DE PROTEINA	% DE LACTOSA	% DE SOLIDOS NO GRASOS	% DE SALES MINERALES	% DE SOLIDOS TOTALES	% DE HUMEDAD
0 hrs	2500	5.5	53.4	0	6	0.29	1.25	4.48	0.74	6.47	6.76	93.24
12 hrs	120	5.5	53.4	0.055	6	2.09	7.79	5.25	1.12	14.16	16.25	83.75

- Análisis de proteínas y lactosa por FTIR

La determinación de la concentración de proteína y lactosa, pudo también realizarse mediante la medición de la absorbancia en el infrarrojo de las proteínas de la leche. El espectro FTIR muestra dos bandas de absorción centradas en 1545 y 1630 cm^{-1} las cuales están asociadas a los grupos funcionales amida I y amida II respectivamente. La absorbancia en el rango 1200 a 1280 cm^{-1} está asociada al grupo amida III, mientras que para el rango 1060 a 1100 cm^{-1} la absorbancia se asocia a grupos fosfatos covalentemente unidos a las proteínas (O=P-O) (Lee *et al.*, 1990; Jung, 2000).

Cabe mencionar sin embargo que para muestras que presentan contenido de lactosa, el rango de absorción de este compuesto es de 930 a 1190 cm^{-1} , con una intensidad suficientemente grande como para enmascarar a la región de los grupos fosfatos (O=P-O). Aunado a lo anterior, el grupo funcional carbonilo (C=O) de la grasa de la leche presenta una banda de absorción en 1747 cm^{-1} , misma que fue observada en los espectros FTIR de las muestras de suero analizadas (Lee *et al.*, 1990; Jung, 2000).

Se utilizó lactosa pura marca Fluka Chemika para evaluar el contenido de lactosa en las muestras de permeado obtenidas de la ultrafiltración. Utilizando espectroscopia infrarroja, se obtuvo una curva de calibración construida a partir del ajuste de mínimos cuadrados de los datos experimentales FTIR y la fracción conocida "x" de lactosa en agua. El resultado de esta correlación se muestra en la figura 18. Puede observarse además que para valores de $x \geq 20\%$ la lactosa se vuelve insoluble. Esto se observó físicamente como una precipitación de lactosa.

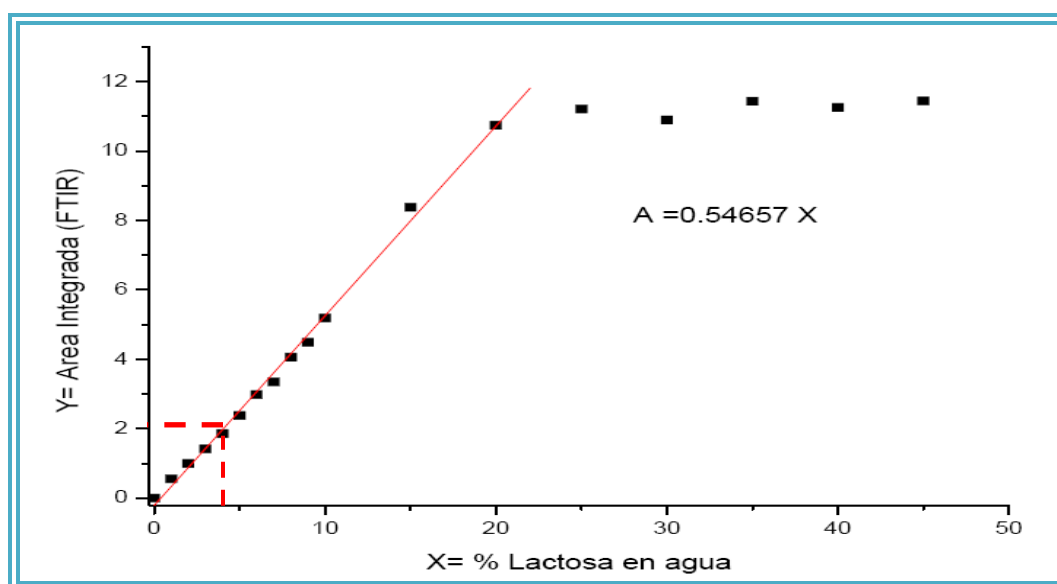


Figura 18. Correlación FTIR de las soluciones de lactosa a diferentes concentraciones.

Esta curva de calibración determinada por FTIR sirvió como un método alternativo al milkoscan para estimar el contenido de lactosa, con las ventajas de que este permite sensor cantidades porcentuales mucho menores que milkoscan.

Con la curva de calibración se encontró que en el permeado de la ultrafiltración hay un 4% de lactosa y en el permeado de la nanofiltración hay 0.12% de lactosa. Es importante determinar la composición de cada fracción para establecer por un lado que usos se les puede dar y por el otro si los efluentes finales del proceso de recuperación de suero y uso de sus componentes nutrimentales cumplen con las normas que permitan el desechado de los mismos sin que alteren los ecosistemas y causen problemas de contaminación.

- Análisis de la DBO₅ y DQO en la Ultrafiltración

Como ya se mencionó, además de recuperar los componentes del suero que tienen mayor valor como es el caso de las proteínas y de la lactosa, se debe garantizar que con el tren de operaciones que se sugerirá a la empresa para recuperar los componentes de mayor valor económico y nutrimental, esta pueda garantizar que el efluente final de todas sus corrientes cumplirá perfectamente con lo que dicta la normatividad mexicana para descargas que se realicen a cuerpos de agua, por lo que fue menester, para dar un estudio completo, el evaluar la DQO en la etapa de ultrafiltración con membrana de 10 y 1 KD, por lo que al permeado se le determinó su valor de DQO (ver tabla 24).

Tabla 24. Análisis de DQO de suero Ultrafiltrado (Inda, 2000)

ANÁLISIS DE LA DQO		
Tipo de suero	Reportado (*) (mg/L)	Analizado (mg/L)
Suero crudo	60,000	27,600
Permeado a 10 KD	60,000	20,600
Permeado a 1 KD	60,000	20,800

El permeado de la ultrafiltración tanto con membrana de 1 como de 10 KDa aun presentó una alta DQO comparado con el valor de la NOM-001-ECOL-1996 (ver tabla 25), por lo tanto este efluente no se puede eliminar, se debe considerar una etapa

posterior ya que la fracción más importante es la lactosa, producto de interés comercial por lo que se puede proponer otra unidad para recuperar lactosa con lo que la DQO bajará mas.

La NOM-001-ECOL-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Los valores de DQO obtenidos después de la Ultrafiltración aun son altos (20,600 mg/L) para lo cual se procede al tratamiento del permeado de suero mediante un proceso de Nanofiltración para así abatir la DQO y DBO₅ presente aun en el.

Tabla 25. Parámetros permisibles de sólidos suspendidos totales y DBO₅ en las aguas residuales de descarga en aguas y bienes nacionales según la NOM-001 ECOL-1996.

Parámetros mg/l	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales			
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso público urbano	
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60	150	200	75	125
DBO₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60

P.D. Promedio diario; P.M. Promedio Mensual.

4.2.2 Nanofiltración a nivel piloto.

Como ya se explicó en la sección de antecedentes, el corte de membrana para que se elija una microfiltración, una ultrafiltración o una nanofiltración depende del producto que se quiera retener. Por ello con el proceso de ultrafiltración se retuvieron las proteínas cuyo peso molecular les impidió el paso por la membrana. En la segunda etapa se estudió la recuperación de la lactosa, ya que como se vio anteriormente este es el componente mayoritario del permeado de la ultrafiltración y constituye la materia orgánica principal que se registró en los valores tan altos de la DQO. Por ello se procedió ahora a considerar el permeado de la ultrafiltración para pasarlo por una unidad de nanofiltración, en este caso, al igual que en la ultrafiltración, se volvieron a obtener dos fases las cuales fueron: a) retentado, rico en lactosa, la cual puede seguir un proceso de secado spray dryer para así obtener un producto comercial y b) permeado, esta fracción fue rica en sales y con bajo contenido de lactosa.

- Análisis de la DBO₅ y DQO en la Nanofiltración

Para definir si el permeado de la unidad de nanofiltración, a la que ya se le eliminó la lactosa por el paso por la membrana correspondiente, es apto para eliminarse o no o si el contenido de materia orgánica que presenta es de interés para seguirse estudiando y proponiendo más operaciones que permitan la recuperación de sólidos. Al desecho de la nanofiltración se le realizó el análisis de demanda química de oxígeno (DQO) (ver la tabla 26).

Tabla 26. Análisis de DQO después de la Nanofiltración.

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE NANOFILTRACION "PERMEADO"	
PARAMETRO	CRUDO
DQO mg/L PRIMERA MUESTRA	311
DQO mg/L SEGUNDA MUESTRA	360
DQO mg/L PROMEDIO	335.5
Desviación estándar σ	24.5

El permeado proveniente de la Nanofiltración ya será más fácil su tratamiento, con un sistema anaerobio dado que se estará hablando de agua con una DQO promedio de 335.5 mg/L. Esta agua fue completamente transparente por lo que incluso puede también tener aplicación en los servicios auxiliares de la planta y/o ser usada para la limpieza de las instalaciones de la misma o sanitarios; como uso para el riego de jardinería, siempre y cuando se determine que está libre de patógenos mediante el análisis microbiológico correspondiente.

4.3 Obtención de suero deshidratado.

Como es bien sabido, los productos libres de agua ó con un contenido de humedad bajo, son menos susceptibles al ataque microbiano, por lo que el tiempo de vida de anaquel aumenta. Esta es una característica muy apreciada sobre todo en los productos que son destinados al consumo humano, ya que al aumentar el tiempo de vida de anaquel se minimizan las pérdidas porque el producto no se haya adquirido antes de la fecha de caducidad del mismo. Considerando lo anterior, para el presente trabajo se estudió como siguiente operación el secado del suero, este con dos objetivos: a) aumentar el tiempo de vida del producto y b) estudiar el proceso completo para ofrecer al mercado un producto similar a lo que actualmente se puede adquirir, que en este caso es el suero deshidratado. A continuación se muestran los resultados obtenidos del

estudio del secado del suero previamente concentrado por medio de la operación de ultrafiltración.

4.3.1 Secado del suero concentrado a nivel industrial.

Se eligió un secador por aspersión o del tipo llamado spray dryer ya que entre sus características asegura la uniformidad en el tamaño de partícula del producto, este parámetro de calidad es muy importante porque es una de las especificaciones de producto que busca el cliente: que el tamaño del gránulo sea uniforme. Además en este tipo de secadores la velocidad de secado es tan alta que minimiza el tiempo de permanencia de la partícula en contacto con la corriente que entra a altas temperaturas, lo que evita que el producto se queme, que se desnaturalicen las proteínas y por lo tanto las propiedades del producto lo hagan de baja calidad y por lo tanto no competitivo en el mercado.

La cantidad de suero concentrado procesado en este proyecto fue de 120 Kg (mismo que se obtuvo en la etapa anterior de ultrafiltración a nivel planta piloto realizada en la Universidad Iberoamericana campus Puebla). El producto de suero concentrado se inyectó en el secador por aspersión con un 17.5% de sólidos totales iniciales. Después del secado por aspersión se obtuvieron 17.7 Kg totales de producto de la siguiente forma: 14 Kg de suero en polvo comercializable, con tamaño de partícula uniforme y bajo contenido de humedad (con 2.67% de humedad) y 3.7 Kg de raspaduras (se le llama así al material sucio que quedó adherido a las paredes del equipo, es inherente que siempre habrá este producto remanente y que no se podrá comercializar). El tiempo total de secado por este método fue de 20 minutos.

Una vez obtenido el suero concentrado en polvo (concentrado de proteínas), la empresa maquiladora realizó el análisis de calidad del mismo (ver anexo 2), el producto cumplió con las especificaciones que indica el mercado para suero en polvo, según lo indicado en la tabla 27.

El suero deshidratado obtenido experimentalmente durante el desarrollo de la presente y al utilizarse primero una unidad de ultrafiltración y posteriormente una unidad de secado por aspersión, contiene un alto porcentaje de proteína, del 47.32 %. Este es cuatro veces superior al contenido de proteína del suero comercial convencional, de mayor venta en México, dicho producto tiene un contenido de proteína del 12 %. Este análisis fue muy interesante, ya que permitió definir que el suero obtenido experimentalmente rebasa el contenido de proteína por lo que se pueden ofrecer dos de los tres productos que hay en el mercado: suero en polvo con 12 % de proteína y con 34 % de proteína.

Tabla 27. Tabla de especificaciones del suero dulce de queso en polvo comercializado mundialmente (Lechería latina, 2008)

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	
Humedad:	máx. 3.00%
Cenizas:	máx. 9,5%
Grasa:	máx. 1%
Proteínas:	mínimo 12.00%
pH:	mínimo 6.00
Acidez titulable:	máx. 16 °D.
Hidratos de Carbón	mín. 75.0%
CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS	
Coliformes totales:	menor a 50 UFC / g
E. Coli:	ausencia en 5 g menor a 100 UFC /g
Hongos y Levaduras:	menor a 20,000 UFC/g
Aerobios mesófilos totales:	ausencia en 0.1 g
St. Aureus:	

El interés de obtener un producto de calidad y competitivo tanto en lo nutricional como en lo comercial, llevó a comparar el producto de suero deshidratado con sueros comerciales en polvo, para este estudio se consideraron: Suero Veyco (con 12 % de proteína) proporcionado por la comercializadora del mismo nombre, Suero Ibero (con 12 % de proteína) donado por la Universidad Ibero campus Puebla, Prowinner producto adquirido en un centro comercial de la región (aislado de proteína 80 % de suero); además se hizo la comparación del suero en polvo contra algunas leches comerciales en polvo como: a) Nan II (alto contenido de lactosa) y b) Rabins, se seleccionaron sueros en polvo y leches de diferentes calidades y precios, como muestra de los productos con los que competirá el elaborado en el presente trabajo. El análisis se realizó por métodos cuantitativos como es el uso del analizador de lácteos milkoscan S54-B y con el uso del Espectrómetro Infrarrojo de Transformada Rápida de Fourier (FTIR) marca BRUKER modelo VERTEX 70, ambos propiedad del Ciba IPN Unidad Tlaxcala, estos se analizaron por duplicado. Para realizar el análisis los sueros deshidratados se disolvieron previamente en agua (ver la tabla 28).

Tabla 28. Comparación de sueros en cuanto a su composición porcentual.

	Empresa productora de quesos	ProWinner	IBERO	VEYCO
RELACION: SUERO g./AGUA g.	5.0164 / 95	5.0082 / 95	5.0261 / 95	5.0259 / 95
HUMEDAD BASE SECA	2.89%	4.77%	2.09%	2.15%
Parámetro	Resultados			
Apariencia	líquido opalescente	líquido opalescente	líquido opalescente	líquido opalescente
pH	8.955 ± 0.005	6.675 ± 0.005	5.985 ± 0.015	5.98 ± 0.1
% de grasa	0.195 ± 0.005	0.17 ± 0.01	0	0
% de proteína	3.27 ± 0.06	4.01 ± 0.03	0.86	0.87
% de lactosa	1.03 ± 0.02	0	3.41 ± 0.01	3.53 ± 0.01
% de sólidos no grasos	5.27 ± 0.09	4.275 ± 0.025	5.02 ± 0.01	5.17 ± 0.03
% de sales minerales	0.97 ± 0.01	0.265 ± 0.005	0.75	0.77
% de sólidos totales	5.46 ± 0.10	4.445 ± 0.035	5.02 ± 0.01	5.17 ± 0.03
% de humedad	94.54 ± 0.10	95.555 ± 0.035	94.98 ± 0.01	94.83 ± 0.17

En cuanto a los resultados obtenidos de proteína y lactosa para los diferentes tipos de sueros se observa que el suero de la empresa productora de queso, tuvo un contenido de proteína mayor a la muestra Ibero y Veyco, productos que se comercializan mas en México. El suero de la empresa tuvo un contenido de proteína del 3.27 %, mientras que los demás fueron de 0.86 % para el suero donado por la Universidad Iberoamericana, del 0.87 % para el suero que comercializa la empresa Veyco y del 4.01 % para el suero ProWinner y que se comercializa como concentrado proteínico. En cuanto a la lactosa se observa que los productos comerciales son ricos en lactosa y con bajo contenido de proteína. El suero de la empresa tuvo un contenido de lactosa del 1.03 %, el 3.41 % para el suero donado por la Universidad Iberoamericana, 3.53 % para el suero que comercializa la empresa Veyco y del 0 % para el suero de importación y que se comercializa como concentrado proteínico; es decir que el suero la empresa superó en calidad a dos sueros (ver tabla 29).

Tabla 29. Evaluación proteica de concentrado de proteínas de la empresa productora de quesos vs sueros comerciales de la región de Tlaxcala y Puebla.

Marca de suero	% de Proteína (promedio)	% de Lactosa (promedio)	Comentarios
ProWinner (chocolate)	4.01	0	Concentrado de proteínas
Empresa	3.27	1.03	Producto rico en proteínas bajo en lactosa
Ibero	0.86	3.41	Producto bajo en proteínas y rico en lactosa
Veyco	0.87	3.53	

Con base en los resultados derivados del equipo analizador milkoscan (Tabla 28) y el espectro de la figura 19, se puede concluir que durante el desarrollo del presente trabajo se obtuvo suero deshidratado, un producto de calidad con un 47.32% de proteína y 40% en lactosa como lo demuestra este espectro; si se considera que en México se comercializa mayoritariamente el producto constituido por suero en polvo con 12% de proteína y en menor cantidad otro producto comercial consistente en suero en polvo con 34% de proteína, el producto de esta investigación se ubica cuantitativamente con un contenido de proteína y lactosa mejor que el proporcionado por la comercializadora Veyco y la Universidad Iberoamericana (proteína 12 %) por lo que podrá surtir ambos productos que hay en el mercado.

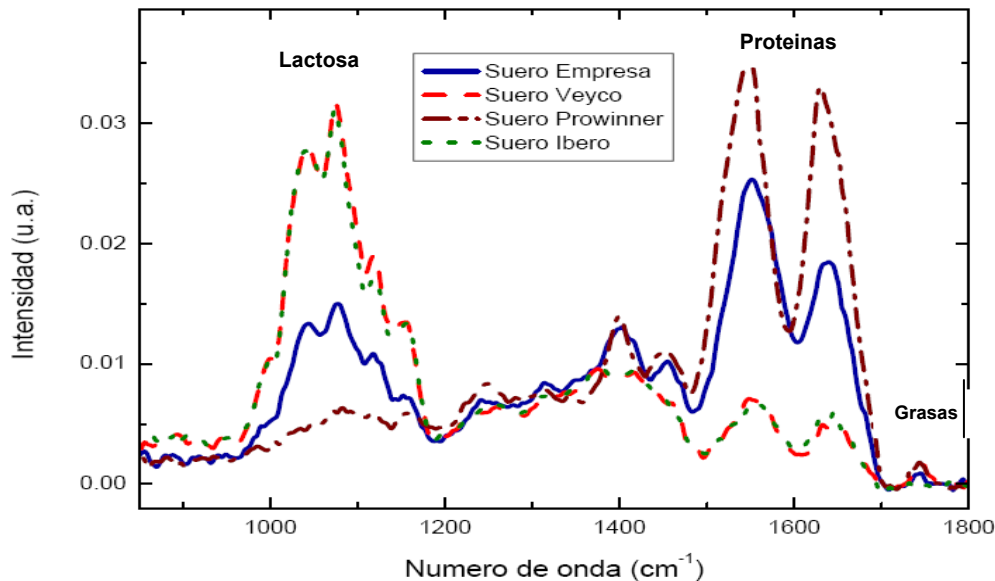


Figura 19. Espectros del suero en polvo de la empresa productora de quesos, Comercializadora Veyco, ProWinner y Universidad Iberoamericana.

Por lo tanto con el presente estudio se puede elaborar dicho producto: el suero en polvo con un contenido de proteína del 12 % y otro suero en polvo con 34% de contenido proteínico, lo cual se puede obtener muy fácilmente con el ajuste del producto con un carbohidrato para alcanzar los requerimientos del cliente y así comercializar ambos productos de suero. El precio del suero en polvo con 12 % de proteína es de \$13/Kg y el precio del producto al 34 % de proteína es de \$ 40/Kg según lechería latina (2008).

Si se controla más aun el proceso de concentrado del suero y se anexa una unidad de desmineralización, se pueden alcanzar porcentajes de proteína muy cercanos a los de producto Prowinner el cual oscila en un 80% de proteína y tiene un precio en el mercado de \$ 250/Kg.

Al comparar el suero obtenido experimentalmente durante el desarrollo de la presente, con leches en polvo comerciales estas presentan un contenido menor de proteínas para las tres marcas de leche con respecto al suero, y en cuanto al contenido de lactosa la marca Nan II (alto contenido de lactosa) refleja realmente un alto contenido de este componente, lo cual coloca al suero deshidratado obtenido en este desarrollo como un posible sustituto de la leche en polvo, tanto para la elaboración de fórmulas lácteas como sustituto en procesos industriales donde se emplea este producto, cabe destacar que la leche en polvo tiene un precio de \$40/Kg, por lo que será más barato el uso del suero y al ser sus propiedades nutricionales similares la sustitución se podrá realizar sin problema alguno (ver figura 20).

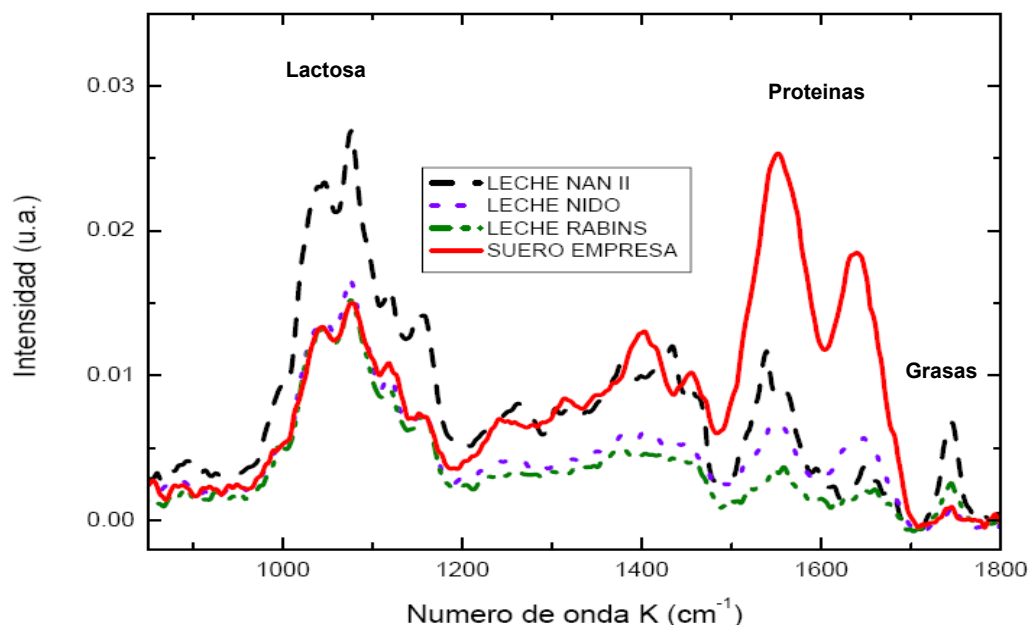


Figura 20. Espectros de leches en polvo comerciales vs suero en polvo de la empresa productora de quesos.

4.3.2 Secado del permeado de suero de la ultrafiltración a nivel laboratorio

Por otro lado el permeado (parte que no se retuvo en la membrana) obtenido después de la operación de ultrafiltración, se liofilizó para secarlo y fue analizado y comparado por espectroscopia FTIR con los mismos sueros comerciales contra los que se comparó el retentado: el suero de Veyco, y el suero donado por la Universidad Iberoamericana campus Puebla, y presentó un espectro FTIR similar al de dichos productos comerciales, lo cual indica que contiene la misma cantidad de carbohidratos y porcentajes muy similares de proteínas, es decir que el permeado de suero puede ser manejado como otro producto comercializable, como competencia de los sueros deshidratados que más se comercializan en México, lo cual lo hace otro producto de interés para esta investigación (ver figura 21).

En este caso ya no se requerirá hacer el ajuste con carbohidratos ya que esta fracción de la ultrafiltración es rica en lactosa, como se demuestra con el espectro y con bajo contenido de proteínas, ya que la mayor fracción proteica se retuvo en la membrana, por lo que el permeado presentó características de composición similares a los sueros deshidratados que más se comercializan en México y únicamente requerirá de secado y estará listo para su envasado.

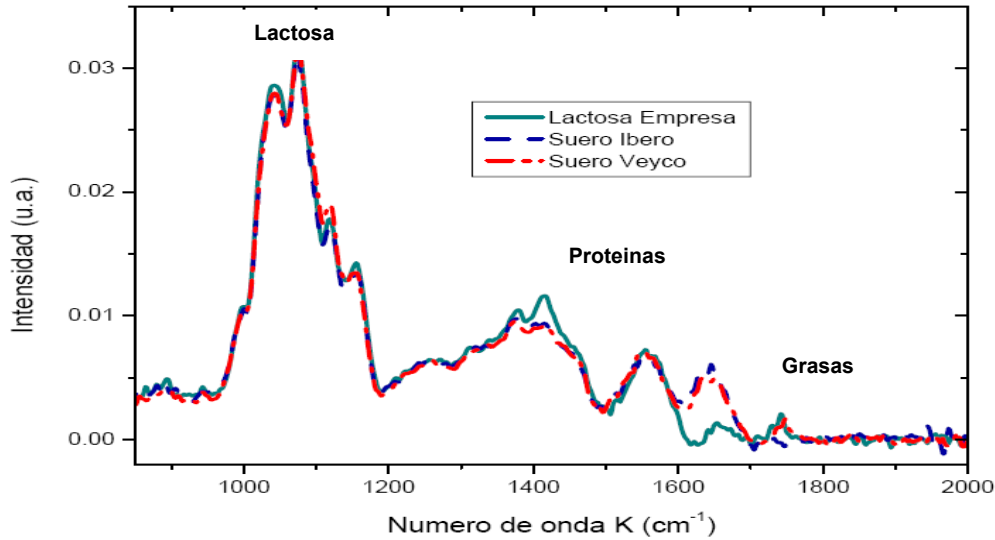


Figura 21. Espectros de la lactosa en polvo de la empresa productora de quesos, suero de Comercializadora Veyco y suero de la Universidad Iberoamericana campus Puebla.

Con todo lo anterior se puede decir que como resultado de la presente investigación se pueden obtener cuatro productos de interés comercial, tres que se obtienen de la etapa de ultrafiltración considerando el retentado y el secado del mismo y secado del permeado de la ultrafiltración. Los productos que se podrán formular y comercializar son entonces:

- 1.- Concentrado de proteínas de suero con 47.32% (WPC), este tendrá un precio más alto y se podrá ofrecer como sustituto de la leche en polvo.
- 2.- Suero de queso en polvo con 34% de proteínas “Grado alimenticio” para obtener este se realzará la adición de carbohidratos, que podrá ser mediante un producto comercial ó la mezcla con la misma lactosa que se separe del suero.
- 3.- Suero de queso en polvo con 12% de proteínas “Grado alimenticio” con la adición de carbohidratos, que al igual que en el caso anterior este ajuste de concentración se puede realizar con carbohidratos comerciales ó con la lactosa que se separe y
- 4.- Suero dulce comercial con 12 % de proteínas. En este caso no se requerirá el ajuste del producto.

En este proyecto el uso de operaciones de filtrado tal como: Microfiltración, Ultrafiltración y Nanofiltración para la separación de las proteínas, que es el componente más importante del suero, demostraron buena funcionalidad en cuanto a la retención de finos de queso y grasa (microfiltración) lo cual ayudó a evitar el taponamiento de las membranas utilizadas para la ultrafiltración. Las proteínas del suero se concentraron 6.2 veces por medio de la ultrafiltración, en esta operación los resultados que se obtuvieron fueron los adecuados ya que el 7.79 % de proteínas alcanzado en esta etapa a nivel

piloto en las instalaciones de la Universidad Iberoamericana fue el mínimo necesario para obtener un suero en polvo (deshidratado) secado por aspersion en un equipo a nivel industrial y así obtener un producto con un 47.32% de proteína y 5.14 % de humedad. Del rentado de lactosa con la operación de nanofiltración se retuvo el 98 % de la lactosa remanente después de la operación de nanofiltración. El permeado obtenido de esta operación fue analizado por espectroscopia FTIR y se observó que tuvo el 0.12% de lactosa que será el efluente final.

4.4 Uso del suero concentrado y del suero en polvo.

Una vez estudiado, obtenido y analizado los sueros concentrado y deshidratado se procedió a emplearlos para la elaboración de otros productos que no variaran en gran medida las operaciones normales de la empresa, por ello se eligieron los siguientes usos: adición de dichos productos del suero en la elaboración de queso Oaxaca, uso de los mismos para la fabricación de una bebida con la adición de saborizantes artificiales. A continuación se describen los resultados obtenidos después del estudio del uso del suero concentrado y del uso del suero en polvo.

4.4.1 Uso del suero concentrado para la formulación de queso tipo Oaxaca.

Primeramente fue muy importante analizar la leche, ya que esta es la materia prima principal para la elaboración de queso de cualquier tipo. En este caso y similar a lo que se realizó con el suero, la leche se estudió mediante un análisis fisicoquímico con el milkoscan, los parámetros que se le evaluaron fueron: pH, % grasa, % proteína, % lactosa, % de sales minerales, % de sólidos no grasos y % de sólidos totales (ver tabla 30).

Tabla 30. Caracterización Fisicoquímica de la leche.

PARAMETRO	RESULTADOS
Apariencia	Líquido blanco opalescente
pH	6.42
% de grasa	3.25
% de proteína	3.12
% de lactosa	4.26
% de sales minerales	0.88
% de sólidos no grasos	8.26
% de sólidos totales	11.51
% de humedad	88.49

A continuación se indican los resultados obtenidos de cada una de las formulaciones de queso tipo Oaxaca con la adición de diversos porcentajes de suero, los análisis que se realizaron a cada formulación de queso consistieron en determinar su rendimiento, facilidad de procesado y sus propiedades organolépticas: apariencia, color, olor y sabor.

4.4.1.1 Formulación de queso usando suero concentrado con 8.66% de sólidos.

La primer formulación se realizó considerando los siguientes porcentajes de suero concentrado adicionado: 0 %, 5 %, 10 % y 12.5 % en todos los casos se preparó queso Oaxaca siguiendo el procedimiento que se sigue en la empresa productora de quesos y con la materias primas que estos utilizan, como es leche bronca, óxido de titanio y fermentos. Al final de la preparación de queso con los porcentajes indicados de suero, se pesó el queso obtenido en cada caso para calcular el rendimiento de acuerdo con la cantidad de leche empleada. Se observa que la formulación donde se obtuvo el mayor rendimiento fue al adicionar 10 % de suero concentrado, en este caso el rendimiento fue del 12.86 % comparado con el 11.56 % obtenido al elaborar el queso sin la adición de suero (ver tabla 31).

Tabla 31. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca primera formulación.

	LECHE (litros)	% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	QUESO EN (g) OBTENIDO	% RENDIMIENTO QUESO / LECHE	OBSERVACIONES EN PROCESADO
PRUEBA 1	4	0	462.2	11.56	BUEN PROCESADO
PRUEBA 2	3.8	5	435.2	11.45	BUEN PROCESADO
PRUEBA 3	3.6	10	463	12.86	BUEN PROCESADO
PRUEBA 4	3.5	12.5	393.4	11.24	FALTA DE ELASTICIDAD

Una vez preparado cada uno de los quesos, se obtuvo suero, este se sometió a un estudio como el que se indicó, explicó y analizó en secciones anteriores, para ello se utilizó únicamente el milkoscan, ya que se corroboró en secciones anteriores que, los resultados de este equipo de análisis rápido son confiables y comparables con los resultados obtenidos analíticamente con el espectrofotómetro infrarrojo. Se evaluaron entonces los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, % de grasa, % de proteína, % de lactosa, % de sales minerales, % de sólidos totales y % de sólidos no grasos.

Se observa por el análisis fisicoquímico que este producto fue similar al obtenido en la empresa, es decir similar al suero que se obtuvo después de preparar queso sin la adición de suero. Esto indica que a pesar de emplearse el suero en la elaboración de mayores cantidades de queso, el subproducto que se obtenga se podrá seguir concentrando y usando para preparar más queso (ver tabla 33).

4.4.1.2 Formulación de queso usando suero concentrado con 9.89% de sólidos.

La segunda formulación se realizó considerando los siguientes porcentajes de suero concentrado adicionado: 0 %, 5 %, 10 % y 19 % en todos los casos se preparó queso Oaxaca siguiendo el procedimiento que se sigue en la empresa productora de quesos y con la materias primas que estos utilizan, como es leche bronca, óxido de titanio y fermentos. Al final de la preparación de queso se procedió a calcular el rendimiento de acuerdo con la cantidad de leche empleada. Se observa que la formulación donde se obtuvo el mayor rendimiento fue al adicionar 19 % de suero concentrado, en este caso el rendimiento fue del 11.76 % comparado con el 10.80 % obtenido al elaborar el queso sin la adición de suero, sin embargo al producto le faltó elasticidad, característica indispensable en la elaboración de queso tipo Oaxaca, los quesos formulados con las demás concentraciones de suero presentaron mayor rendimiento que el queso sin la adición de suero, indicando que las proteínas si se coagulan en el producto final (ver tabla 32).

Tabla 32. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca segunda formulación.

	LECHE (litros)	% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	QUESO EN (g) OBTENIDO	% RENDIMIENTO QUESO /LECHE	OBSERVACIONES DE PROCESADO
PRUEBA 1	4	0	432	10.80	BUEN PROCESADO
PRUEBA 2	3.8	5	430.5	11.33	BUEN PROCESADO
PRUEBA 3	3.6	10	401	11.14	BUEN PROCESADO
PRUEBA 4	3.24	19	381	11.76	FALTA DE ELASTICIDAD

Una vez preparado cada uno de los quesos, se obtuvo suero, este se sometió a un estudio como el que se indicó, explicó y analizó en secciones anteriores. Se observa que el análisis fisicoquímico fue similar al obtenido después de preparar queso sin la adición de suero (ver tabla 34).

Tabla 33. Caracterización fisicoquímica del suero de la primera formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.

Resultados					
Parámetros	0% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	5% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	12.5% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	SUERO EMPRESA
Apariencia	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente
pH	5.31	5.06	5.43	5.45	6.26
% de grasa	0.47	0.55	0.39	0.41	0.37
% de proteína	1.58	1.75	1.61	1.65	1.34
% de lactosa	4.32	4.23	4.32	4.31	4.4
% de sales minerales	0.76	0.78	0.76	0.77	0.75
% de sólidos no grasos	6.66	6.76	6.69	6.73	6.49
% de sólidos totales	7.13	7.31	7.08	7.14	6.86
% de humedad	92.87	92.69	92.92	92.86	93.14

Tabla 34. Caracterización fisicoquímica del suero de la segunda formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.

Resultados					
Parámetros	0 % DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	5% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	19 % DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	SUERO EMPRESA
Apariencia	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente
pH	6.26	6.27	6.27	6.2	6.25
% de grasa	0.42	0.42	0.34	0.38	0.18
% de proteína	1.26	1.31	1.39	1.54	1.24
% de lactosa	4.6	4.63	4.66	4.67	4.53
% de sales minerales	0.73	0.74	0.74	0.75	0.75
% de sólidos no grasos	6.59	6.68	6.79	6.96	6.52
% de sólidos totales	7.01	7.1	7.13	7.34	6.7
% de humedad	92.99	92.9	92.87	92.66	93.3

4.4.1.3 Formulación de queso usando suero concentrado con 9.60% de sólidos.

La siguiente formulación se realizó considerando los siguientes porcentajes de suero concentrado adicionado: 0 %, 5 %, 10 % y 20 % en todos los casos se preparó queso Oaxaca siguiendo el procedimiento que se sigue en la empresa productora de quesos y con ya se indicó con las materias primas que estos utilizan. Se registró el rendimiento de acuerdo con la cantidad de leche empleada. Se observa que la formulación donde se obtuvo el mayor rendimiento fue al adicionar 0 % de suero concentrado, en este caso el rendimiento fue del 11.46 % (ver tabla 35). En la formulación con la mayor cantidad de suero, que fue del 20 % el producto que se obtuvo presentó una consistencia dura, con falta de elasticidad, es decir que las cantidades de suero que se pueden utilizar para la elaboración de queso tipo Oaxaca tienen que ser menores al 20 % para que el producto se obtenga con las características que busca el mercado en este tipo de productos.

Tabla 35. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca tercera formulación.

	LECHE (litros)	% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	QUESO EN (g) OBTENIDO	% RENDIMIENTO QUESO / LECHE	OBSERVACIONES DE PROCESADO
PRUEBA 1	4	0	458.5	11.46	BUEN PROCESADO
PRUEBA 2	3.8	5	428.5	11.28	BUEN PROCESADO
PRUEBA 3	3.6	10	382	10.61	BUEN PROCESADO
PRUEBA 4	3.2	20	323.5	10.11	FALTA DE ELASTICIDAD

Como en las formulaciones anteriores el suero fue analizado después de ser drenado de cada una de la pruebas, para corroborar la composición de este y compararlo con el suero proveniente de la empresa de un lote normal de producción (ver tabla 36). En todos los casos se encontró que las propiedades fueron similares a la formulación sin la adición de suero, indicando que el subproducto obtenido, a pesar de provenir de una formulación de queso donde se partió de la adición de suero, no se alteró sustancialmente, por lo que se puede seguir concentrando y utilizando para elaborar más queso.

Tabla 36. Caracterización físicoquímica del suero de la tercera formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.

Resultados					
Parámetros	0% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	5% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	20 % DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	SUERO EMPRESA
Apariencia	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente
pH	6.11	6.03	5.86	5.66	6.23
% de grasa	0.35	0.44	0.53	0.47	0.22
% de proteína	1.34	1.45	1.57	1.74	1.24
% de lactosa	4.61	4.59	4.57	4.58	4.61
% de sales minerales	0.75	0.76	0.76	0.77	0.73
% de sólidos no grasos	6.7	6.8	6.9	7.09	6.58
% de sólidos totales	7.05	7.24	7.43	7.56	6.8
% de humedad	92.95	92.76	92.57	92.44	93.2

4.4.1.4 Formulación de queso usando suero concentrado con 8.56% de sólidos.

La siguiente formulación se realizó considerando porcentajes de suero concentrado en un rango más cerrado para encontrar la máxima cantidad de este que se puede adicionar: 8 %, 10 %, 12 % y 15 %. Se observa que la formulación donde se obtuvo el mayor rendimiento fue al adicionar 8 % de suero concentrado, en este caso el rendimiento fue del 12.17 %, le siguió la formulación con la adición de 15 % de suero, pero en este caso al procesarlo le faltó elasticidad al producto obtenido.

La cantidad máxima de suero concentrado a utilizar debe ser del 8 al 10 %, arriba de esta cantidad la incorporación de las proteínas no es igual por lo que el producto no se obtiene con buena elasticidad y no permite hacer la hebra característica del queso Oaxaca (ver tabla 37).

Tabla 37. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca cuarta formulación.

	LECHE (litros)	% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	QUESO EN (g) OBTENIDO	% RENDIMIENTO QUESO / LECHE	OBSERVACIONES DE PROCESADO
PRUEBA 1	3.68	8	448	12.17	BUEN PROCESADO
PRUEBA 2	3.6	10	410	11.39	BUEN PROCESADO
PRUEBA 3	3.52	12	398.5	11.32	PROCESADO REGULAR
PRUEBA 4	3.4	15	403.5	11.87	FALTA DE ELASTICIDAD
PRUEBA 5	3.6	10	393.5	10.93	BUEN PROCESADO
LA MUESTRA No 5 ES FORMULADA SIN LA ADICION DE LECHE FERMENTADA.					

El suero obtenido de cada una de las pruebas fue analizado también por Milkoscan y se continuó observando resultados muy similares con los obtenidos de un lote normal de producción de la empresa, aun sin la adición de leche fermentada (ver tabla 38).

Tabla 38. Caracterización fisicoquímica del suero de la cuarta formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.

Resultados						
Parámetros	8% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	12% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	15 % DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	SUERO EMPRESA
Apariencia	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente
pH	5.14	5.25	5.02	5.04	6.02	5.96
% de grasa	0.5	0.45	0.64	0.72	0.5	0.39
% de proteína	1.67	1.73	1.78	1.82	1.57	1.34
% de lactosa	4.16	4.23	4.2	4.22	4.51	4.26
% de sales minerales	0.78	0.79	0.78	0.79	0.77	0.76
% de sólidos no grasos	6.61	6.75	6.76	6.83	6.85	6.36
% de sólidos totales	7.11	7.2	7.4	7.55	7.35	6.75
% de humedad	92.89	92.8	92.6	92.45	92.65	93.25

4.4.1.5 Formulación de queso usando suero concentrado con 8.56% de sólidos.

En la empresa fabricante de queso, es común que ellos en lugar de adicionar el fermento comercial, adicione leche ácida. Por lo que se probó también esta variante y la siguiente formulación se realizó considerando el 10 % de suero concentrado adicionado y se probó la adición de fermento en la misma cantidad que lo adiciona la empresa, en la mitad de esta y sin la adición de fermento, también en este caso se preparó queso Oaxaca siguiendo el procedimiento establecido en la empresa productora de quesos y con la materias primas que estos utilizan. Al final de la preparación se pesó el queso obtenido en cada caso para calcular el rendimiento de acuerdo con la cantidad de leche empleada, suero y fermento empleados. Se observa que la formulación donde se obtuvo el mayor rendimiento fue en la adición de 100 % fermento, en este caso el rendimiento fue del 11.75 % comparado con el 11.24 % obtenido al elaborar el queso sin la adición de fermento (ver tabla 39). Se incluyó una prueba con el 7 % de suero para definir el rango de suero concentrado que se puede adicionar para preparar queso.

La formulación óptima es entonces usando del 8 al 10 % de suero concentrado y en lugar de emplear el fermento comercial utilizar leche ácida, cuando no se disponga de esta se puede utilizar el fermento comercial.

Tabla 39. Cantidades de suero concentrado y leche fresca para elaborar queso Oaxaca quinta formulación.

	LECHE (litros)	% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	ADICION DE FERMENTO	QUESO EN (g) OBTENIDO	% DE RENDIMIENTO QUESO / LECHE	OBSERVACIONES DE PROCESADO
PRUEBA 1	3.6	10	CON 100% DE FERMENTO	422.9	11.75	BUEN PROCESADO
PRUEBA 2	3.6	10	CON 50% DE FERMENTO	399.3	11.09	BUEN PROCESADO
PRUEBA 3	3.6	10	SIN FERMENTO	404.8	11.24	BUEN PROCESADO
PRUEBA 4	3.73	7	SIN FERMENTO	423.8	11.36	BUEN PROCESADO

El suero obtenido de cada una de las pruebas realizadas con suero concentrado adicionado, con y sin fermento adicionado también fueron analizadas para cuantificar las cantidades de cada uno de los componentes de este y compararlas con las de un suero proveniente de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos las observaciones fueron las mismas, aun utilizando la leche agria el comportamiento del experimento fue similar obteniéndose suero que es viable seguir concentrando y utilizando para la elaboración de queso tipo Oaxaca, esto por el bajo porcentaje que se emplea de este (10 %) (ver tabla 40).

Tabla 40. Caracterización fisicoquímica del suero de la quinta formulación comparado con el suero de un lote normal de producción de la empresa productora de quesos.

	Resultados				
Parámetros	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	10% DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	7 % DE SUERO CONCENTRADO ADICIONADO	SUERO EMPRESA
Apariencia	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente
pH	5.75	5.87	5.89	5.92	5.94
% de grasa	0.36	0.31	0.25	0.29	0.29
% de proteína	1.56	1.5	1.44	1.41	1.32
% de lactosa	4.43	4.49	4.53	4.55	4.35
% de sales minerales	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74
% de sólidos no grasos	6.76	6.75	6.73	6.71	6.41
% de sólidos totales	7.12	7.06	6.98	7	6.7
% de humedad	92.88	92.94	93.02	93	93.3

Para comparar los resultados obtenidos en las cinco pruebas anteriores fue conveniente acomodarlos en una tabla para observar mejor las variaciones de una formulación a otra. Los resultados de las 21 pruebas realizadas para la incorporación de suero concentrado en la elaboración de queso tipo Oaxaca se concentran en la tabla 41 y en la figura 22, donde se muestran los valores promedio de rendimiento en cuanto a la cantidad de suero utilizada para cada una de las pruebas. El mejor rendimiento promedio se obtuvo al adicionar 8 % de suero concentrado (ver tabla 41)

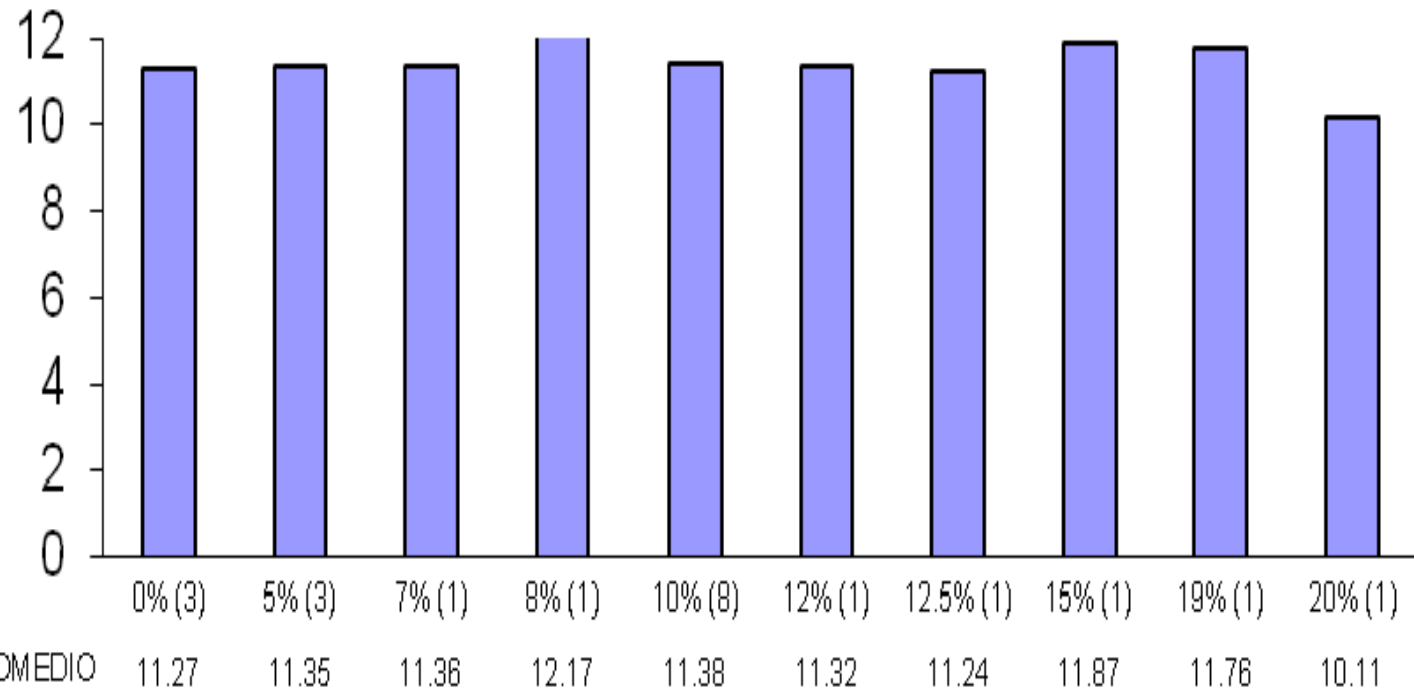
Tabla 41. Porcentajes de suero adicionados y rendimientos obtenidos usando suero concentrado.

Resultados	
% Suero	Rendimiento
	(Peso queso/peso leche) * 100
0% (3)	11.27
5% (3)	11.35
7% (1)	11.36
8% (1)	12.17
10% (8)	11.38
12% (1)	11.32
12.5% (1)	11.24
15% (1)	11.87
19% (1)	11.76
20% (1)	10.11

Los valores ((1), (3) y (8) representan el número de repeticiones realizadas para cada porcentaje de suero concentrado usado en las diferentes pruebas realizadas para elaborar queso.

ANALISIS DE RESULTADOS

RENDIMIENTO



% DE SUERO USADO

Figura 22. Porcentajes de suero concentrado adicionados y rendimientos obtenidos usando suero concentrado.

- Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca formulado con suero concentrado y leche fresca.

Además de evaluar en qué formulación de queso se obtiene el mayor rendimiento y su procesado lo cual es muy importante para la empresa, como se trata de un producto para el consumo humano y considerando que la empresa ya tiene sus clientes y mercado propio, fue muy importante hacer el estudio organoléptico del queso, en este caso se consideraron únicamente las mejores formulaciones de queso, las que tuvieron un rendimiento alto, un procesado bueno y la apariencia del queso fue adecuada. Para esta evaluación se consideró la participación de 15 panelistas, mismos que degustaron una muestra de queso de cada una de las siguientes formulaciones de prueba: A.- Adición de 10% de suero concentrado y la mitad de fermento adicionado, B.- Adición de 10% de suero concentrado y la adición completa de fermento, C.- Adición de 7% de suero concentrado y sin adición de fermento, D.- Adición de 10% de suero concentrado y sin adición de fermento, E.- Muestra fabricada por la empresa de quesos. La aceptabilidad de los productos fue buena ya que en el resultado porcentual de quien compraría el producto formulado con suero concentrado adicionado este arroja que el 66.6% de los panelistas compraría este tipo de queso Oaxaca (ver tabla 42).

Tabla 42. Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca, elaborado con suero concentrado y leche fresca.

Formulación	Apariencia	Color	Consistencia (Textura)	Sabor	Comprarian el queso
A	15	15	1	1	1
B	15	15	2	2	2
C	15	15	3	3	3
D	15	15	4	4	4
E	15	15	5	5	5

El numero indica a cuantos panelistas les gusto cada una de las formulaciones por ejemplo: consistencia y sabor siendo la más aceptable la formulación E por consistencia y sabor.

Se determinó que la cantidad sugerida de suero concentrado a usar es de 8 - 10% con un contenido de 8.5 a 10 % de sólidos, ya que las formulaciones de queso así obtenidas presentaron las siguientes ventajas sobre las demás formulaciones estudiadas: a) Presenta buena incorporación de los componentes del suero (grasa, proteínas, lactosa, minerales), b) El comportamiento en el proceso de elaboración del queso tipo Oaxaca fue aceptable desde el punto de vista de hebrasidad, elasticidad, sabor y textura, c) El rendimiento promedio del producto obtenido fue del 11.38% comparado con el de usar solo leche en un proceso normal de 11.27 % de rendimiento, d) El análisis fisicoquímico de los sueros resultantes de cada una de las muestras fueron similares con respecto a las muestras de referencia (formulación clásica de la empresa productora de quesos), esto indica que el suero que se vaya obteniendo se puede seguir concentrando y aplicando a la elaboración de queso, buscando siempre

conservar las mismas características de un producto ya comercializado por dicha empresa.

- Prueba de hipótesis nula y alterna por distribución χ^2 .

Se realizó un análisis estadístico de la desviación estándar poblacional para evaluar una hipótesis nula y una hipótesis alterna y conocer la desviación estándar de un grupo de datos en la aceptación del queso elaborado con adición de suero concentrado en su formulación entre 15 panelistas para las formulaciones: A.- Adición de 10% de suero concentrado y la mitad de fermento adicionado, B.- Adición de 10% de suero concentrado y la adición completa de fermento, C.- Adición de 7% de suero concentrado y sin adición de fermento, D.- Adición de 10% de suero concentrado y sin adición de fermento, E.- Muestra fabricada por la empresa de quesos (ver tabla 43).

Tabla 43 Análisis de la desviación estándar en la prueba de hipótesis para la aceptabilidad de los quesos, con suero concentrado.

FORMULACION	ACEPTACION DEL CLIENTE	DESVIACION POBLACIONAL	DESVIACION MUESTRAL	PRUEBA DE HIPOTESIS		
A	1					
B	2			1	Ho $\sigma =$	1.4142
C	3	1.4142	1.5811	2	Ha $\sigma \neq$	1.4142
D	4					
E	5			3	$\chi^2(gl, \alpha/2) =$	11.14
					$\chi^2(gl, 1-(\alpha/2)) =$	0.48
n=	5		$\alpha =$ 0.05	4	$\chi^2 =$	5.00
formula $\chi^2 = ((n-1) * (S^2)) / \sigma^2$				5	No se rechaza Ho	
Conclusion: Los resultados experimentales indican que la desviacion estandar esta situada aun nivel aceptable entre el gusto de los panelistas.						

Como se puede observar en la tabla 43 el queso elaborado con el 10 % de suero adicionado (formulación D) tiene una aceptabilidad de 26.6 %, pero cualquier formulación con la adición de suero tiene aceptabilidad.

- Análisis económico del uso de suero concentrado en la elaboración de queso.

El usar un 10% de suero concentrado para la elaboración de queso tipo Oaxaca representa un ahorro del 10 % de leche, considerando el precio de esta se traduce en un ahorro del \$0.45/L por la sustitución de un 10% de leche para la elaboración de dicho queso. Para el caso de la empresa se sustituirían 200 L de leche por día ya que se procesan 20,000 L de leche/día. El 10 % de suero concentrado representa que se obtendrían 20 kg de queso/día extra; a un precio de \$ 45 se obtendría una ganancia de \$ 900/día representando una utilidad mensual de \$ 27,000 por la adición del 10 % suero concentrado.

Para poder realizar esto, de adicionar el suero concentrado cuando se formule más queso es necesario adquirir el equipo de ultrafiltración y de nanofiltración. Además de la adquisición del equipo se deben considerar los gastos para la operación y mantenimiento del mismo. Los gastos de mantenimiento y operación del equipo de ultrafiltración se estimaron del orden de \$ 25,000/mes según datos proporcionados por la empresa y el costo del equipo para el procesamiento de esta cantidad de suero es de \$ 3,000,000.

Además hay que considerar que con esta operación de usar el suero para la producción de mas queso tipo Oaxaca, se evitaría el pago a la Coordinación General de Ecología (CGE) por el tratamiento del suero que es de \$ 7,000/mes. Con estos datos se hizo el balance siguiente: el pago a la CGE mas la utilidad obtenida por la venta del queso excedente y restando los gastos de operación y mantenimiento del equipo de ultrafiltración se tendrían ganancias extra por \$ 9,000/mes mismos que se utilizarían para el pago del equipo. Por lo tanto la recuperación de la inversión se llevaría 27 años, con el beneficio extra de además de ya no contaminar en un futuro.

4.4.2 Uso del suero en polvo para la formulación de queso tipo Oaxaca en sustitución de leche en polvo.

Ya que se obtuvo el suero deshidratado al pasar el suero primeramente por la unidad de ultrafiltración y posteriormente por la operación de secado, este se empleó para la elaboración de queso tipo Oaxaca en sustitución de la leche en polvo, que es común utilice la empresa cuando la demanda de queso es mayor ó cuando la oferta de leche baja. A continuación se indican los resultados obtenidos al formular queso tipo Oaxaca con la adición de diferentes cantidades de suero en polvo y comparado con adicionar leche en polvo.

4.4.2.1 Formulación de queso usando leche fresca y leche en polvo.

En la primer formulación se utilizó leche en polvo en la misma proporción que lo hacen en la empresa, es decir el 1 %, esta se empleó para fabricar queso tipo Oaxaca siguiendo el procedimiento ya establecido y con las materias primas que estos utilizan, como son: leche fresca, óxido de titanio, cloruro de calcio y fermento. Al final de la preparación de queso con la adición de leche en polvo, se pesó el queso obtenido para calcular el rendimiento de acuerdo con la cantidad de leche en polvo empleada, este dato se usó como base para determinar el suero en polvo puede ser sustituto de la leche en polvo (ver tabla 44).

Tabla 44. Cantidad de leche en polvo y leche fresca para elaborar queso Oaxaca.

	LECHE (litros)	% DE LECHE EN POLVO ADICIONADA	QUESO OBTENIDO (g)	% RENDIMIENTO QUESO / LECHE
PRUEBA	4	1	470	11.75

4.4.2.2 Formulación de queso usando suero en polvo con un contenido de proteína de 47.32% y leche fresca.

Posteriormente se hizo otra prueba adicionando 1 %, 0.5 % y 0.25 % de suero en polvo para la elaboración de queso tipo Oaxaca, se observa que el mayor rendimiento se obtuvo cuando se usaron 0.5 % de suero en polvo, en este caso el rendimiento fue del 13.07 %, comparado con la prueba con la adición de únicamente leche en polvo, donde el rendimiento fue de 11.75 g/litro de leche. Cabe destacar que incluso con menos cantidad de suero adicionado (0.25 %) se obtuvo un rendimiento mayor que con tan solo leche en polvo (11.75 %), esto debido a que el suero deshidratado tuvo un contenido de proteína mayor que la leche en polvo, proteínas que tendieron a coagularse al elaborar el queso tipo Oaxaca. El rendimiento al incorporar suero en polvo en la formulación del queso tipo Oaxaca llegó hasta el 13.07% aumentando en un 1.32 % el rendimiento con respecto a la adición de leche en polvo y manejando tan solo la mitad de suero adicional, lo cual también se verá reflejado en lo económico ya que solo se gastara el 50% de lo aplicado en la compra de leche en polvo, además de que se tendrá una ganancia extra debida al incremento en el rendimiento con base a solo utilizar leche en polvo. El suero deshidratado se puede utilizar perfectamente para sustituir la leche en polvo que se usa en la empresa (ver tabla 45).

Tabla 45. Cantidades de suero en polvo y leche fresca para elaborar queso Oaxaca.

	LECHE (litros)	% DE SUERO ADICIONADO	QUESO OBTENIDO (g)	% RENDIMIENTO QUESO / LECHE
PRUEBA 1	4	1	500	12.50
PRUEBA 2	4	0.5	522.6	13.07
PRUEBA 3	4	0.25	484.4	12.11

- Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca formulado con suero en polvo y leche fresca.

Además de evaluar en qué formulación de queso se obtuvo el mayor rendimiento, lo cual es muy importante para la empresa, como se trata de un producto para el consumo humano y considerando que la empresa ya tiene sus clientes y mercado propio, fue muy importante hacer el estudio organoléptico del queso. Para esta evaluación se consideró

la participación de 10 panelistas, mismos que degustaron una muestra de queso de cada una de las siguientes formulaciones de prueba: A.- Adición de 1% de suero en polvo y leche fresca, B.- Adición de 0.5% de suero en polvo y leche fresca, C.- Adición de 0.25% de suero en polvo y leche fresca, D.- Adición de 1% de leche en polvo y leche fresca. La aceptabilidad del producto fue buena ya que el resultado porcentual de quien compraría el producto formulado con suero en polvo adicionado indica que el 70% de los panelistas compraría este tipo de queso Oaxaca (ver tabla 46).

Tabla 46. Prueba organoléptica del queso tipo Oaxaca, elaborado con suero concentrado y leche fresca

Formulación	Apariencia	Color	Consistencia (Textura)	Sabor	Comprarían el queso
A	10	10	2	2	2
B	10	10	3	3	3
C	10	10	2	2	2
D	10	10	3	3	3

El numero indica a cuantos panelistas les gusto cada una de las formulaciones por ejemplo: consistencia y sabor siendo las más aceptables las formulaciones B y D por consistencia y sabor, pero la formulación B representa el uso del 0.5% de suero en polvo usado, mientras que la formulación D representa el uso del 1% de leche en polvo.

Al analizar nuevamente el suero obtenido, se puede observar que se tienen resultados muy similares en los parámetros del suero resultante de cada una de las pruebas realizadas con la adición de suero en polvo, respecto a los de un proceso en el cual se incorpora leche en polvo y sin la adición de suero. Por lo que el suero resultante de estas formulaciones se puede reciclar para la formulación de más queso y/o pasar a la etapa de concentración, para su posterior secado y comercialización del mismo (ver tabla 47).

Tabla 47. Caracterización del suero proveniente de la formulación de queso usando leche fresca y suero en polvo, y formulación con leche en polvo para la elaboración de queso tipo Oaxaca.

PARAMETROS	RESULTADOS			
	ADICION DE 1% DE SUERO EN POLVO DE LA EMPRESA	ADICION DE 0.5% DE SUERO EN POLVO DE LA EMPRESA	ADICION DE 0.25% DE SUERO EN POLVO DE LA EMPRESA	ADICION DE 1% LECHE EN POLVO DE LA EMPRESA
Apariencia	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente	liquido opalescente
pH	5.75	5.57	5.43	6.45
% de grasa	0.4	0.37	0.38	0.28
% de proteína	2.07	1.78	1.61	1.27
% de lactosa	4.66	4.55	4.46	4.49
% de sales minerales	0.79	0.77	0.76	0.75
% de sólidos no grasos	7.52	7.1	6.83	6.51
% de sólidos totales	7.92	7.47	7.21	6.79
% de humedad	92.08	92.53	92.79	93.21

- Prueba de hipótesis nula y alterna por distribución χ^2 .

Se realizó un análisis estadístico de la desviación estándar poblacional para evaluar una hipótesis nula y una hipótesis alterna y conocer la desviación estándar de un grupo de datos en la aceptación del queso elaborado con adición de suero en polvo en su formulación entre 10 panelistas para las formulaciones: A.- Adición de 1% de suero en polvo y leche fresca, B.- Adición de 0.5% de suero en polvo y leche fresca, C.- Adición de 0.25% de suero en polvo y leche fresca, D.- Adición de 1% de leche en polvo y leche fresca (ver tabla 48).

Tabla 48. Análisis de la desviación estándar en la prueba de hipótesis para la aceptabilidad de los quesos, con suero en polvo.

FORMULACION	ACEPTACION DEL CLIENTE	DESVIACION POBLACIONAL	DESVIACION MUESTRAL	PRUEBA DE HIPOTESIS		
A	2					
B	3			1	Ho	$\sigma = 0.50$
C	2	0.5000	0.5774	2	Ha	$\sigma \neq 0.50$
D	3					
				3	$\chi^2(gl, \alpha/2) =$	9.35
					$\chi^2(gl, 1-(\alpha/2)) =$	0.22
n=	4		$\alpha =$ 0.05	4	$\chi^2 =$	4.00
formula $\chi^2 = ((n-1) * (S^2)) / \sigma^2$				5	No se rechaza Ho	
Conclusion: Los resultados experimentales indican que la desviacion estandar esta situada aun nivel aceptable entre los panelistas.						

Como se puede observar en la tabla 48 el queso elaborado con el 0.5 % de suero en polvo adicionado (formulación B) tiene una aceptabilidad de 30 %, pero cualquier formulación con la adición de suero en polvo tiene aceptabilidad.

- Análisis económico del uso de suero en polvo.

Considerando la producción de 20,000 L/día de suero misma que en la actualidad se obtiene por parte de la empresa productora de quesos, con un 6% de sólidos totales, si se sometieran al proceso de ultrafiltración y posteriormente al secado por aspersión y según el balance de materia de las pruebas realizadas, se determinó que se obtendrían en promedio 1,200 kg/día de suero en polvo ó 36 toneladas de suero en polvo mensualmente. Para calcular la ganancia se necesita el precio del producto en el mercado, este se obtuvo de los datos de mercado para el suero deshidratado, mismos que se muestran en la figura 23.

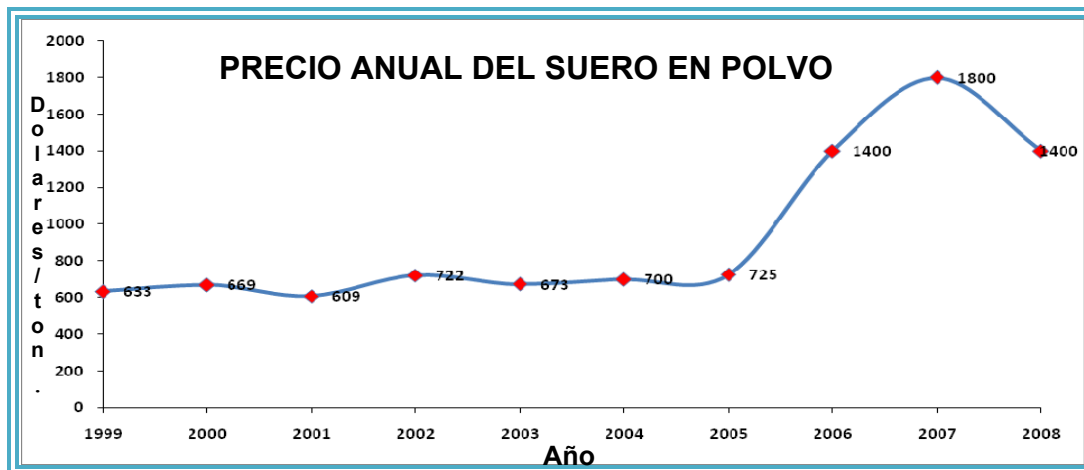


Figura 23. Fluctuación anual del precio del suero dulce.

De donde se observa que en 2008 el precio es de \$1,400 dólares por tonelada, es decir al precio actual del suero deshidratado es de \$15.40/Kg. Con este dato se calculó que vendiendo todo el suero en polvo que se puede elaborar se obtendría ventas por un total de \$ 18,480/día lo que mensualmente representa ó serian \$ 554,400.

Para completar el análisis económico es menester considerar los gastos, tanto por la adquisición de equipo (que en este caso será la unidad de ultrafiltración, la unidad de nanofiltración y el secador por aspersión) y los gastos de operación, de mantenimiento, sueldo y demás gastos que debe realizar la empresa para la obtención del suero en polvo (ver tabla 49).

Tabla 49. Resumen de los gastos mensuales supuestos de acuerdo a información de la empresa productora de quesos.

CONCEPTO	GASTO
Sueldos	\$ 11,470
Costos de producción	\$ 30,000
Costos fijos	\$ 120,000
Gastos variables y almacenamiento	\$ 31,000
Total	\$ 192,470

El costo del equipo de ultrafiltración para el procesamiento de esta cantidad de suero es de \$ 1,400,000, el costo del equipo de nanofiltración es de \$ 2,200,000 y el costo del secador es de \$ 4,000,000 para hacer un total para la compra e instalación de estos equipos de \$ 7,600,000. Considerando entonces los gastos que generan la producción de las 36 ton mensuales de suero en polvo y la adquisición y operación del equipo de ultrafiltración, nanofiltración y secado, se obtendría una utilidad de \$ 251,970/mes los cuales se destinarán para el pago de los equipos de proceso. Por lo que la recuperación de la inversión para formular suero en polvo llevaría de 2 a 3 años.

4.4.3 Uso del suero para la elaboración de una bebida.

El siguiente uso investigado fue la elaboración de una bebida mediante la pasteurización del suero y la adición de saborizante artificial. El contenido proteico de la bebida fue relativamente alto 1.25%, bajo en grasa 0.3% y similar en carbohidratos 4.48% a varias bebidas infantiles y nutritivas existentes en el mercado elaborados a base de suero en polvo como el proporcionado por comercializadora Veyco y la Universidad Iberoamericana campus Puebla: proteína 0.86%, grasa 0% y carbohidratos 3.41%.

Para la bebida formulada con el suero deshidratado se reportó una vida útil de seis días a 4 °C, por lo que se recomienda utilizar conservadores para aumentar su

estabilidad, igualmente agregar otros compuestos que aumenten su valor nutricional, funcional y comercial.

Para lo cual se puede incursionar en el mercado de las bebidas lácteas, sin pasar por el proceso de concentración ni secado del suero de la empresa productora de quesos, originándose con esto utilidades para la empresa misma; y a su vez poniendo al alcance de la comunidad de bajos recursos un alimento con un buen contenido de proteína apto para el consumo humano.

- Prueba organoléptica de la bebida formulada con suero de queso y sabor artificial.

Para hacer la evaluación de la aceptabilidad del producto se ofrecieron muestras del suero a los visitantes a la feria de la ciencia en Tlaxcala, en su mayoría el público que accedió a degustar el producto fue la población infantil, por lo que se puede decir que la aceptación del producto fue muy buena principalmente en este sector.

Las características físicas y químicas también fueron aceptables; la apariencia fue agradable, el producto presentó una apariencia consistente y homogénea y el sabor a chocolate que se le adicionó a la bebida fue también del agrado de los panelistas, ya que este al mezclarse con el sabor propio del suero hicieron una combinación con un sabor suave y agradable al paladar.

- Análisis económico del uso de suero para elaborar bebida.

Para hacer el análisis económico de esta aplicación del suero, se deben considerar algunos factores importantes para abordar el mercado de comercializar el suero, proveniente de la empresa productora de quesos con la adición de un saborizante artificial; entre los cuales se encuentran los siguientes: a) cumplir con normas sobre todo microbiológicas, ya que al ser un producto líquido y con alto contenido de proteínas y de azúcares resulta un sustrato adecuado para el crecimiento microbiano, b) precio de venta debe ser menor al de la leche, ya que difícilmente se pagara por este producto a base de suero un precio mayor a dicho artículo de la canasta básica, c) se debe evaluar la cantidad máxima de suero a comercializar por día, ya que no existen datos de comercialización de un producto elaborado a base de suero con la característica que aquí se indican, d) mercado no definido en la región, esto implicarían gasto apreciables en mercadotecnia para dar a conocer el producto.

Bajo estas consideraciones se procedió a hacer el análisis económico, el precio máximo de venta al público sería de \$ 4/L y si a esto se le agregan gastos de procesamiento como es la pasteurización y el envasado la utilidad al comercializarlo sería muy pequeña. Por lo cual se concluye que esta alternativa de uso para el suero de la empresa productora de quesos no es rentable.

Dadas las condiciones económicas y tecnológicas de la empresa productora de quesos, se puede implementar el proceso para la elaboración de bebidas con sabor artificial pero el mercado está muy competido con bebidas fermentadas tipo yakult, donde el sector principal es el infantil y además se requiere de la infraestructura necesaria para la conservación, el almacenamiento y distribución rápida del producto.

Analizando todas las posibilidades de usos aquí estudiados, se puede decir que si se realiza la ultrafiltración del suero para obtener suero concentrado que podrá utilizarse para la formulación de mas queso, se requerirá de una unidad de ultrafiltración completa para esta operación y además se estará desechando una corriente muy importante que es el permeado de la operación de ultrafiltración rica en lactosa, continuándose así con el problema de contaminación por tener aun una alta DQO y DBO₅ por lo que para eliminar el problema de contaminación se requerirá también de una unidad de nanofiltración, en este caso la recuperación de la inversión es a tiempos muy largos que no son atractivos para ningún empresario. La obtención de suero en polvo traerá como beneficio principal una comercialización más rápida, de este producto y manejo de menores volúmenes con respecto al suero como bebida o suero concentrado, además de menor riesgo de descomposición del mismo; es muy importante destacar que el mercado para el suero en polvo ya está bien estudiado y definido, en el anexo 3 se muestra el listado de las empresas que utilizan el suero en polvo, mayoritariamente empresas de alimentos muy grandes como son la Bimbo y Barcel, también se indican las empresas registradas en México que comercializan dicho producto, que son muy pocas, por lo que la entrada a este mercado será relativamente fácil comparado con la incursión en el mercado nuevo de la bebidas a base de suero. Y la recuperación de la inversión es en tiempos muy cortos, lo cual si es un atractivo para un empresario.

La obtención de suero en polvo tanto dulce como desmineralizado abre la posibilidad para la empresa productora de quesos de vender no solo suero comercial, sino que puede ofertar de manera industrial suero de diferentes características en cuanto al contenido de proteína las cuales pueden ser:

- 1.- Concentrado de proteínas de suero con 47.32% (WPC),
- 2.- Suero de queso en polvo con 34% de proteínas "Grado alimenticio",
- 3.- Suero de queso en polvo con 12% de proteínas "Grado alimenticio",
- 4.- Suero dulce comercial y
- 5.- Lactosa comercial " Grado alimenticio"

Para poder fabricar dichos productos se requiere entonces la adquisición e instalación de los siguientes equipos:

- 1.- Unidad de Ultrafiltración, para realizar la concentración de las proteínas del suero y obtener un concentrado proteínico, y como permeado un producto rico en lactosa y con menor contenido de proteína.
- 2.- Unidad de Nanofiltración, para hacer el concentrado de la lactosa y de las proteínas remanentes de la unidad de ultrafiltración, producto que también será comercializable.

3.- Unidad de secado, donde se deshidratarán por un lado el concentrado de proteínas que se podrá ofrecer al mercado previo, ajuste al contenido de proteínas y lactosa como en los productos que se ofrecen en el mercado ó que se podrá aprovechar en la misma empresa como sustituto de la leche en polvo y, el secado del concentrado de lactosa de la unidad de nanofiltración, producto que se podrá comercializar sin ajuste alguno.

4.- Área y sistema de envasado para los diferentes productos que se podrán comercializar.

Conclusiones

Las conclusiones principales que se derivan del presente trabajo son:

1.- Haciendo estudios adecuados es posible minimizar los desechos industriales y aprovecharlos para darles otros usos. Como en el caso del presente trabajo de investigación, donde se estudió la elaboración de productos comercializables a base de suero, disminuyendo por un lado la contaminación por su desechado y por otra la reducción de las importaciones de suero.

2.- El suero de la empresa productora de quesos tiene componentes nutrimentales que pueden recuperarse mediante operaciones sencillas como son la ultrafiltración para concentrar las proteínas, la nanofiltración para la recuperación de la lactosa; además de una operación adicional que es el secado para obtener productos en polvo. Por lo que la implementación de estas en la empresa será relativamente sencilla.

3.- El uso de estas operaciones además garantizará el obtener un efluente que tenga los parámetros permisibles para uso interno o descarga en cuerpos de agua; y de esta manera se cumpliría uno de los objetivos principales del presente desarrollo, el de eliminar la contaminación ambiental y usar los componentes del suero en beneficio del ser humano.

4.- El suero deshidratado es un producto que tiene una gran demanda en México, actualmente se importan alrededor de 60,000 ton/anuales de suero en polvo, debido a sus múltiples aplicaciones, por lo que el mercado de este está definido, se colocaría toda la producción y se reducirían importaciones. Además, el suero concentrado y deshidratado presentó un contenido de proteína superior a los productos que más se comercializan en México, por lo que este será un excelente competidor de los mismos.

5.- El uso del suero en polvo para la formulación de queso tipo Oaxaca como sustituto de la leche en polvo, trae como beneficio aumentar el rendimiento de este, lo cual se verá reflejado en las ganancias de la empresa y la disminución en consumo de leche en polvo y evitar la importación de este producto.

6.- El equipo milkoscan a pesar de ser un equipo de lectura rápida arrojó resultados confiables corroborados con el análisis de espectrofotometría FTIR.

7.- Es posible recuperar la cantidad suficiente de los sólidos del suero para producir productos de interés comercial y al final dejar el efluente final incoloro e inodoro, solo con pequeñas cantidades de lactosa (0.12 %) que incluso puede utilizarse para la limpieza en la misma empresa.

Recomendaciones y sugerencias para trabajo futuro

Los resultados obtenidos durante la realización del presente trabajo servirán como base para continuar con una serie de investigaciones de interés actual, entre las cuales destacan las siguientes:

- Realizar los estudios microbiológicos a todos los productos aquí estudiados, para garantizar el consumo de los mismos y que no representarán ningún riesgo para la salud.
- Diseñar un sistema de tratamiento de agua para la eliminación del 0.12 % de lactosa remanente en el efluente final para que esta se elimine de acuerdo con la normatividad mexicana para descargas.
- Una vez concentradas las proteínas, estudiar sistemas para lograr la separación y purificación de las mismas mediante operaciones más específicas. Esto debido a que las proteínas puras representan productos con mayor valor agregado.
- Estudiar la aplicación de dicha proteínas en otras aplicaciones dentro de la misma área de alimentos, como es en el estudio de la estabilidad de alimentos congelados.
- Aplicación de componentes bioactivos de las proteínas del suero para su aplicación en tratamientos médicos, como es para el control de la hipertensión arterial usos que se han reportado pero que no han sido a la fecha ampliamente estudiados como es también el control del cáncer.
- Se requiere más investigación en el ámbito fisiológico y conocer el beneficio que aportan las proteínas del suero en los consumidores.

Referencias

Andrade L. Efecto del flujo de alimentación sobre la ultrafiltración del suero pasteurizado de queso. [Tesis de Ingeniería Agrónoma], Escuela Agrícola Panamericana Zamorano Honduras. 1-24, (1999).

Armstrong G. Whey treatment apparatus. US patent 4,617,861. (1986).

Artavia W. Elaboración de queso ricotta a partir de suero lácteo [Tesis de ingeniería Agrónoma] Escuela de agricultura de la región tropical húmeda, Guacimo Costa Rica. 1-54, (1999).

Bastian D. y Lo G. Incorporation of native and Denatured whey proteins into cheese curd for manufacture of reduced Fat, Havarti-type Cheese. Journal Dairy Science 81:16-24, (1998).

Belitz H. y Grosch W. Química de los alimentos. Segunda edición, Editorial Acribia, 1-1134, (1997).

Beuviel E. y Buchin S. Raw milk cheeses. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. 1: 319-345, (2004).

Caessens P; Visser S. y Gruppen H. Method for the isolation of bovine β -lactoglobulin from a cheese whey protein fraction and physicochemical characterization of the purified product. Journal Dairy International. 7: 229-235, (1997).

Chacon B; Cordero A. y Rodriguez A. Contaminación del río Bermudez. Journal Agron. Costarr. 3: 109-113, (1979).

Cheryan M. Ultrafiltration and microfiltration handbook. Second edition, Technomic Publishing Company. 11: 1-527, (1998).

Cox M. y Lehninger D. Principios de Bioquímica. Editorial Omega, 1-1232, (2006).

Crossman T. Use of whey-derived products as cheese flavoring agents or enhancers. US patent 4,500,549. (1985).

Csapó J; Martin G; Kiss Z. y Házás Z. Protein, fats, vitamin and mineral concentrations in porcine colostrum and milk from parturition to 60 days. Journal Dairy International. 6: 881-902, (1996).

Cuartas B; Alcaina I. y Soriano E. Separation of Mineral Salts and Lactose Solutions through Nanofiltration Membranes. Food Science and Technology International. 10: 255-262, (2004).

Czulak J. Process for recovering the whey proteins, the application therefore to cheese-making and the resulting cheeses. US patent 4,518,616. (1985).

Dominguez W. Evaluación de sorbetes y bebidas elaboradas a base de concentrado proteico del suero de queso. [Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agronomo.], Zamorano, Honduras. 1-42, (2000).

Egnell E. Procedure for manufacture of whey products in continuous production line. US patent 4,253,386. (1981).

Egnell E. Method for manufacture of whey products. US patent 4,333,958. (1982).

Etzion Y; Linker R; Cogan U y Shmulevich I. Determination of Protein Concentration in Raw Milk by Mid-Infrared Fourier Transform Infrared/Attenuated Total Reflectance Spectroscopy. Journal Dairy Science 87: 2779-2788, (2004).

Fenaille F; Parisod V; Visani P; Populaire S; Tabet J. y Guy P. Modifications of milk constituents during processing: A preliminary benchmarking study. Journal Dairy International. 16: 728-739, (2006).

Ferez A; Rudloff S; Guadix A; Henkel C; Pohlentz G; Boza J; Guadix E. y Kunz C. Goats milk as a natural source of lactose-derived oligosaccharides: isolation by membrane technology. Journal Dairy International. 16: 173-181, (2006).

Ferrer E; Alegria A; Farre R; Abellan P. y Romero F. Review: indicators of damage of protein quality and nutritional value of milk. Food Science and Technology international, 5: 447-461, (1999).

Flores W. Taller de Capacitación para Microempresarios Rurales “Tecnologías Básicas de Aprovechamiento de la Leche en el Área Rural” Jinotepe, Nicaragua. 1- 30, (2001)

Foss, electric. Dk. Manual de Operación **MilkoScan S 50**. Tercera edición, México, 1-50, (1997).

Grasselli M; Navarro C; Fernández L; Miranda V; Camperi A. y Cascone O. ¿Qué hacer con el suero de queso? Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy 8: 1-10, (1997).

Getler J; Thomsen P. y Peters L. Process and apparatus for converting liquid whey into powder. US patent 6,048,565. (2000).

Gutierrez G; Maldonado G; Martinez O. y Medrano H. Microencapsulacion de jugo de cebada verde mediante secado por aspersion. Ciencia y Tecnologia Alimentaria 4: 262-266, (2004).

Haaland M. y Thomas V. Partial least-squares methods for spectral analyses. 1. Relation to other quantitative calibration methods and the extraction of qualitative information. American Chemical Society. 60: 1193-1202, (1988).

Hall G. e Iglesias O. Funtional properties of dried milk whey. Food Science and Thechnology International, 3: 381-383, (1997).

Harper J. y Muller L. Effects on Membrane Processing of Pretreatments of Whey. Journal agriculture food chemical 27: 662-662, (1979)

Hibbard C; Raghunath B. y Guyse S. Food processing wastewater treatment and recovery process. US patent 5,514,282. (1996).

Hinrichs A. Incorporation of whey in cheese. Journal Dairy International 11: 495-503, (2001).

Hung S. y Zayas J. Functionality of milk proteins and corn germ protein Flour in comminuted mead products. Journal of food quality. 15: 139-152, (1992).

Iberica. www.mmsiberica.com. (2006).

Inda A. Optimizacion de rendimientos y aseguramiento de inocuidad en la industria quesera. Consultor Independiente México 1-171, (2000)

Jense J. y Larsen H; Method for obtaining high-quality protein products from whey. US patent 5,679,780. (1997).

Johnson B. Los concentrados de proteína de suero y sus aplicaciones en productos bajos en grasa. Alfa Editores Técnicos Mexico, 19: 1- 3, (2004).

Jung C.. Insight into protein structure and protein-ligand recognition by Fourier transform infrared spectroscopy. J. Mol Recognit. 13: 325-351, (2000).

Kim H; Morr C; Seo A. y Surak J. Effect of whey pretreatment on composition and functional properties of whey protein concentrate. Journal of Food Science 54(1):25-29, (1989).

Konrad G. y Kleinschmidt T. A new method for isolation of native α -lactalbumin from sweet whey. Journal Dairy International. 18: 47-54, (2008).

Lawrence R. The use of ultrafiltration technology in cheese making. Bulletin No. 240: 3–15, (1989).

Lawrence R. Incorporation of whey proteins in cheese. Bulletin No. 9301: 79–87, (1993).

Lee C; Haris I; Chapman D. y Mitchell C. Determination of protein secondary structure using factor analysis of infrared spectra. American Chemical Society. 29: 9185-9193, (1990).

Lecheríalatina. www.lecherialatina.com. (2008).

Madrid A y Cenzano I. Tecnología de la elaboración de los helados. Mundi-Prensa Libros S.A. México 1-679, (1995).

Malacarne M; Martuzzi F; Summer A. y Mariani P. Review: Protein and fat composition of mare's milk: some nutritional remarks with reference to human and cow's milk. Journal Dairy International. 12: 869-877, (2002).

Mansson H; Fonden R. y Pettersson H. Composition of Swedish dairy milk. Journal Dairy International. 13: 409-425, (2003).

Marcelo P. y Rizvi S. Physicochemical properties of liquid virgin whey protein isolate. Journal Dairy International. 18: 236- 246, (2008).

Mariscal H; Estrada G y Nuño O. Desarrollo de un método para la elaboración de una bebida a partir de suero de leche saborizada artificialmente. Centro universitario de los altos de la universidad de Guadalajara. Alfa Editores Técnicos México, 20: 1-3, (2005).

Marquardt F; Pederson T. y Francis H. Modified whey product and process including ultrafiltration and demineralization. US patent 4,497,836. (1985).

Martinez A; Montes H y De gante V. Textural de queso Oaxaca. Universidad Autónoma de Chapingo. Alfa Editores Técnicos México. 1-4, (2006).

Mattie E; Harju N; Heikki O. y Heikkilli E.. Process of recovering lactose from whey. US patent 4,955,363, (1990).

McIntosh H; Royle J; Leu L; Regester O; Johnson A; Grinsted L; Kenward S. y Smithers W. Whey proteins as functional food ingredients. Journal Dairy International 8: 425-434, (1998).

Mehra R; Marnila P. y Korhonen H. Milk immunoglobulins for health promotion. Journal Dairy International. 16: 1262-1271, (2006).

Mehra R; Kelly P. Review. Milk oligosaccharides: structural and technological aspects. Journal Dairy International. 16: 1334-1340, (2006).

Mendenhall V. y Brown J. Fourier transform infrared determination of whey powder in nonfat dry milk. Journal Dairy science 74: 2896-2900, (1991).

Mendoza G; Romo L; Serratos C; Alvares O. y Revilla O. Dimensionamiento y construcción de un secador por aspersión a nivel laboratorio. Unidad profesional Interdisciplinaria de BiotecnologíaUPIBI-IPN, (2005).

Meyer M; Kircher S; Usami O; Berlijn J. y Medina F Elaboración de Productos Lácteos: Manuales para Educación Agropecuaria. Editorial Trillas, (1986).

Meyer M. Manuales para educación agropecuaria elaboración de productos lácteos. Editorial: trillas segunda edición, 1-122, (1990).

Milkaut. www.milkaut.com. (2008).

Miller L; Perry B. y De Gregorio R. Whey permeate-derivate sweetener. US patent 5,009,899. (1991)

Modler W. y Emmons B. The use of continuous ricotta processing to reduce ingredient cost in “further processes” cheese products. Journal Dairy International 11: 517-523, (2001).

Molina E; Ramos M; Alonsoand L. y Fandiño R. Contribution of low molecular weight water soluble compounds to the taste of cheeses made of cows', ewes' and goats' milk. Journal Dairy International. 9: 613-621, (1999).

Morr C. y Ha E. Effect of HTST pasteurization of milk, cheese whey and cheese whey UF retentate upon the composition, physicochemical and functional properties of whey protein concentrates. Journal of Food Science. 52: 312-317, (1987).

Morr C. y Ha E. Off-flavors of whey protein concentrates: A literature review. Journal Dairy International. 1: 1-11, (1991).

Morr C. y Ha E. Whey protein concentrates and isolates; processing and functional properties. Critical reviews in food science and nutrition 33: 431-476, (1993).

Mundolácteo. www.mundolacteoycarnico.com. (2005).

Niro. www.gea-niro.com.mx. (2008).

NOM-001-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-091-SSA1-1994, Bienes y servicios. Leche pasteurizada de vaca. Disposiciones y especificaciones sanitarias.

NOM-155-SCFI-2003 Leche, formula láctea y producto lácteo combinado, determinaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

Ostojie S; Pavlovie M; Zivie M; Filipovie Z; Gorjanovie S; Hranisavljevie S; Dojeinovie M. Processing of whey from dairy industry waste. *Environmental Chemical Lett.* 3: 29-32, (2005).

Patocka G; Jelen P. y Kalab M. Thermostability of skimmilk with modified casein/whey protein content. *Journal Dairy International.* 3: 35-48, (1993).

Pederson Jr. y Harold T. Tratamen of whey. US patent 4,202,909. (1980).

Ramadan A y Gyula V. Investigation of ultra and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of Food, Engineering* 67: 325–332, (2005).

Ratray W. y Jelen P. Review. Protein standardization of milk and dairy products. *Trends in Food Science and Technology.* 7: 227-234, (1996).

Revelo M. Ultrafiltración del suero de queso y evaluación química y microbiológica del concentrado proteico. [Tesis de Ingeniería Agrónoma], Escuela Agrícola Panamericana Zamorano Honduras. 1-30, (1998).

Revilla, A. Tecnología de la leche. 3 Edición Reverte. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 1-396, (1996).

Schreiber R. Heat-induced modifications in casein dispersions affecting their rennetability. *Journal Dairy International.* 11: 553-558, (2001).

Silva H. y Verdalet G. Alimentos e ingredientes funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición,* 53(4): 333-347, (2003).

Sivakesava S. y Urudayaraj J. Rapid determination of tetracycline by milk FT-MIR and FT-NIR spectroscopy. *Journal Dairy Science.* 85: 487-493, (2002).

Steffl A; Schreiber R; Hafenmair M. y Kessler G. Influence of whey protein aggregates on the renneting properties of milk. *Journal Dairy International* 9: 403-404, (1999).

Verdalet G. y Silva H. Alimentos funcionales para una alimentación adecuada. *La Ciencia y el Hombre XIV Archivos latinoamericanos de nutrición.* 2:35-40, (2001).

Wakabayashi H; Yamauchi K. y Takase M. Review: Lactoferrin research, technology and applications. *Journal Dairy International* 16: 1241-1251, (2006).

Wiking L; Björck L. y Nielsen J. Influence of feed composition on stability of fat globules during pumping of raw milk. *Journal Dairy International*. 13: 797-803, (2003).

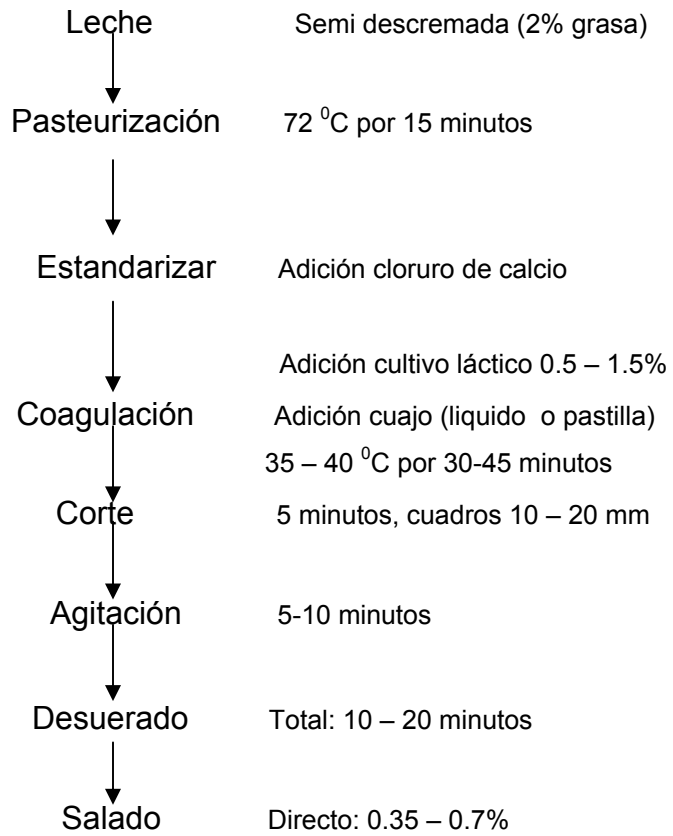
Young S. Productos de suero de leche en quesos procesados empacados en frío y pasteurizados. Houston, TX. Alfa Editores Técnicos México, 1-3, (2005).

Zydney L. Proteins Separation Using Membrane Filtration: New Opportunities for Whey Fractionation. *Journal Dairy Science* 8: 243-250, (1998).

Lista de anexos 1

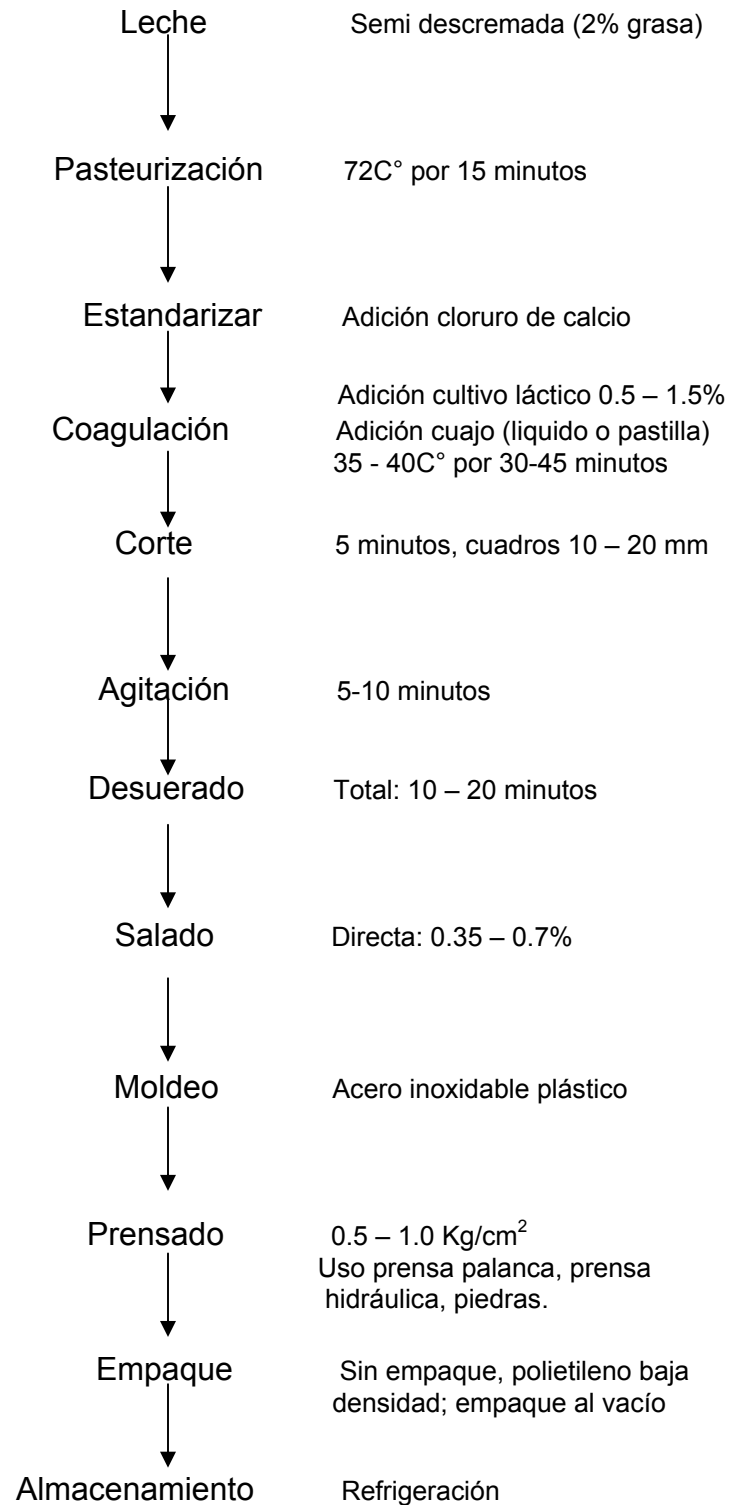
Anexo		Página
1	Diagrama de proceso queso fresco	119
2	Diagrama de proceso queso blanco	120
3	Diagrama de proceso para obtener queso tipo Oaxaca	121
4	Diagrama de proceso para la elaboración de bebida a partir del suero	122
5	Diagrama de proceso para la elaboración de queso tipo Oaxaca	123
6	Diagrama general para el procesado de la leche	124
7	Diagrama de proceso para leche condensada azucarada	125
8	Diagrama de proceso para leche en polvo	126
9	Diagrama de proceso para la elaboración del yogurt	127

DIAGRAMA (1) PROCESO DE QUESO FRESCO



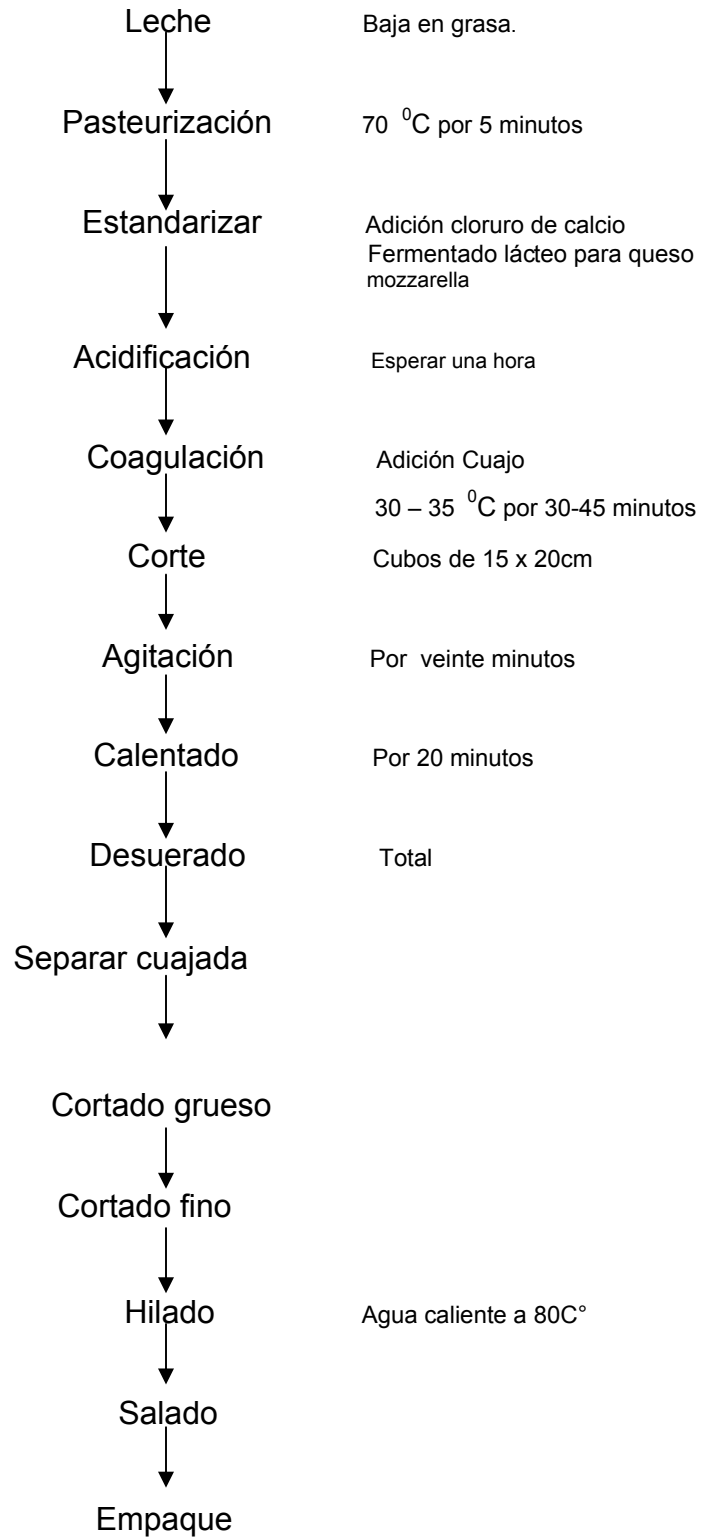
(Flores, 2001)

DIAGRAMA (2) PROCESO DE QUESO BLANCO



(Flores, 2001)

DIAGRAMA (3) PROCESO PARA OBTENER QUESO TIPO OAXACA



(Flores, 2001)

DIAGRAMA (4) PROCESO DE ELABORACION DE BEBIDA A PARTIR DE SUERO DE QUESO

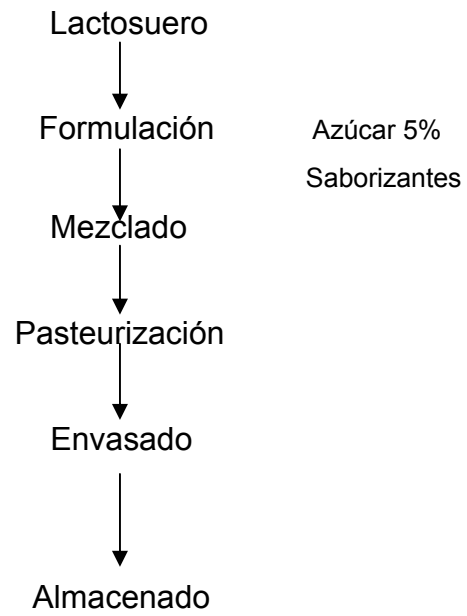


DIAGRAMA (5) PROCESO PARA LA ELABORACION DE QUESO TIPO OAXACA

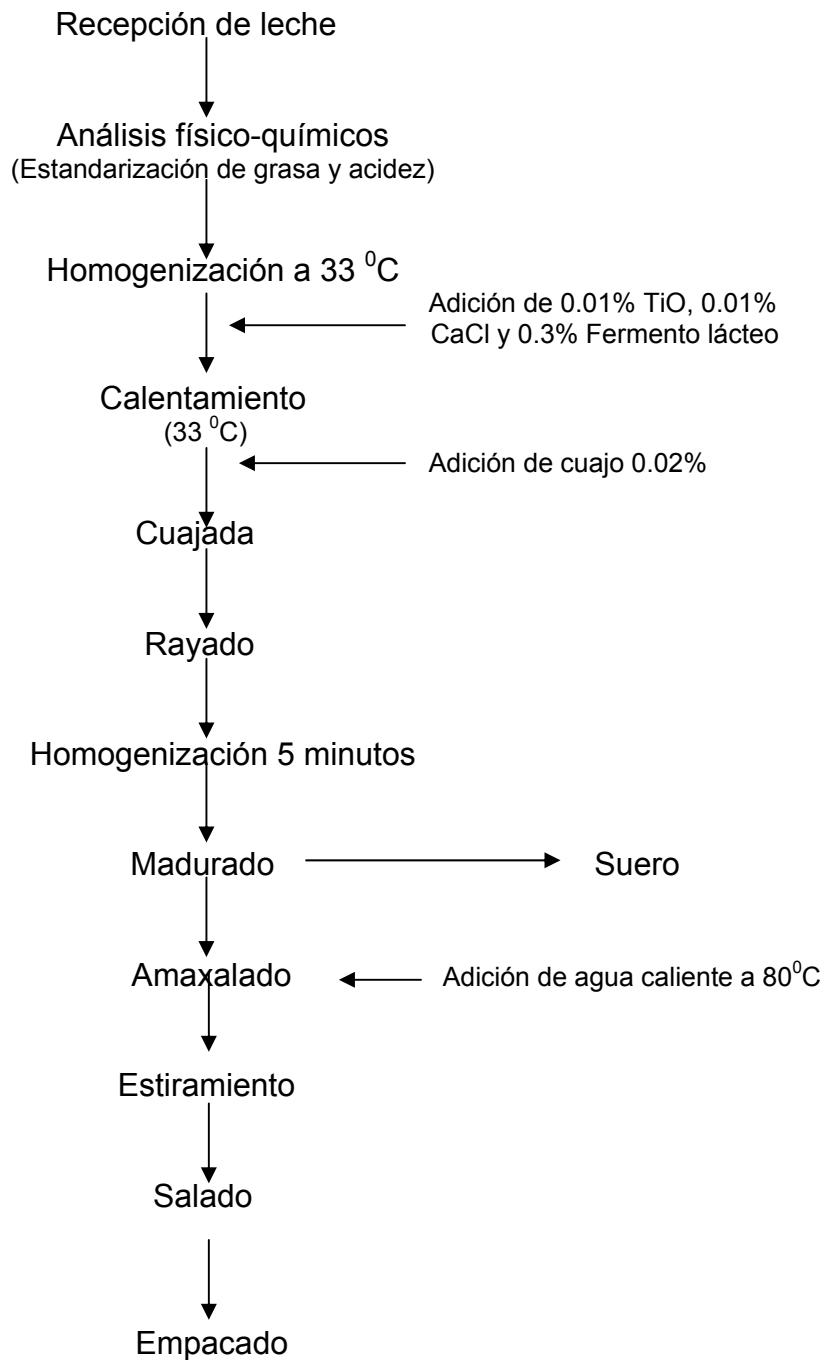


DIAGRAMA GENERAL PARA EL PROCESADO DE LA LECHE

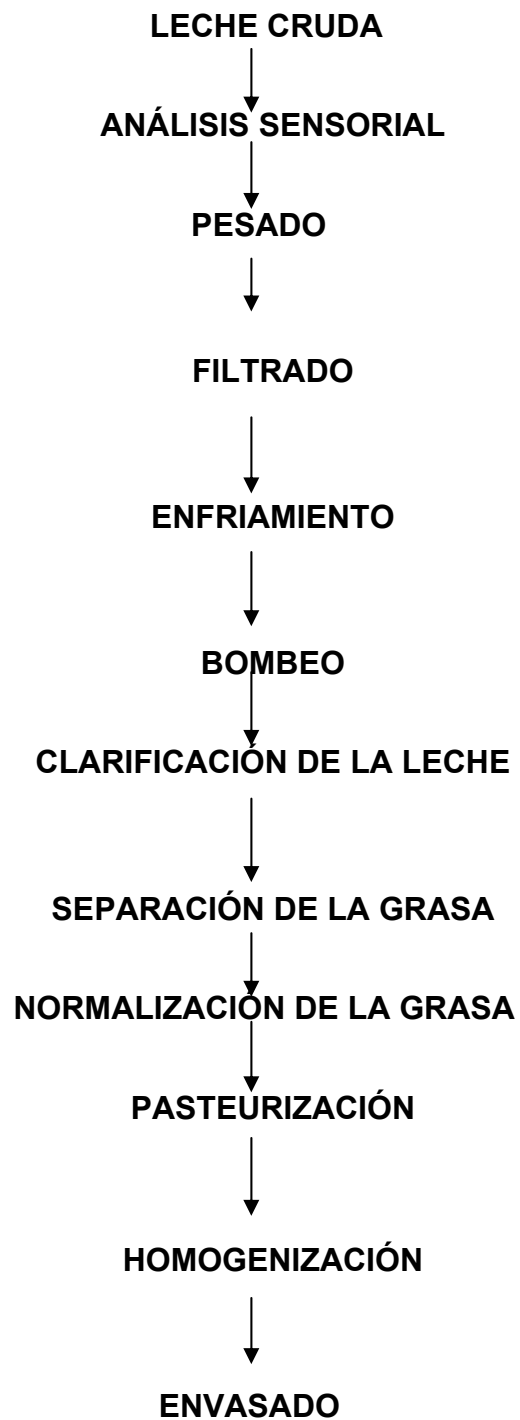


DIAGRAMA DE PROCESO PARA LECHE CONDENSADA AZUCARADA

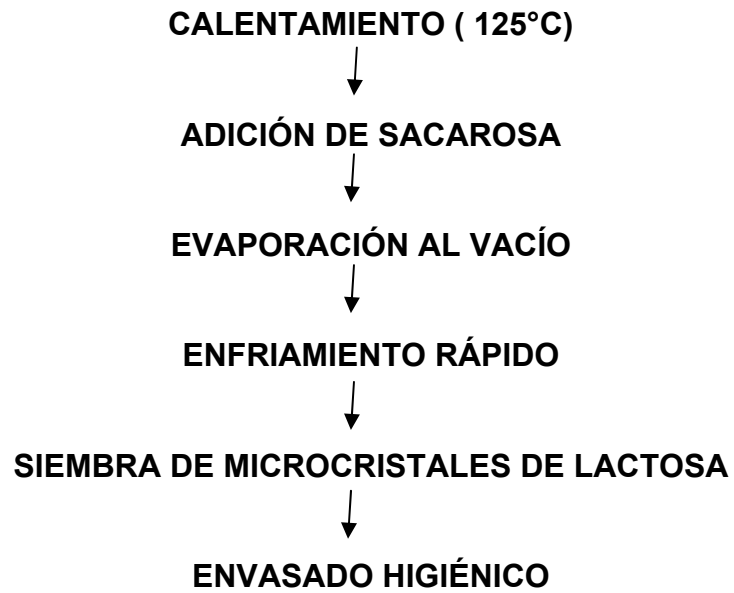


DIAGRAMA DE PROCESO PARA LECHE EN POLVO

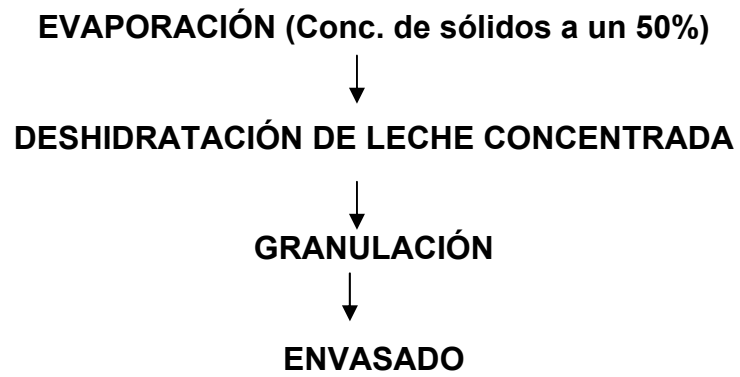
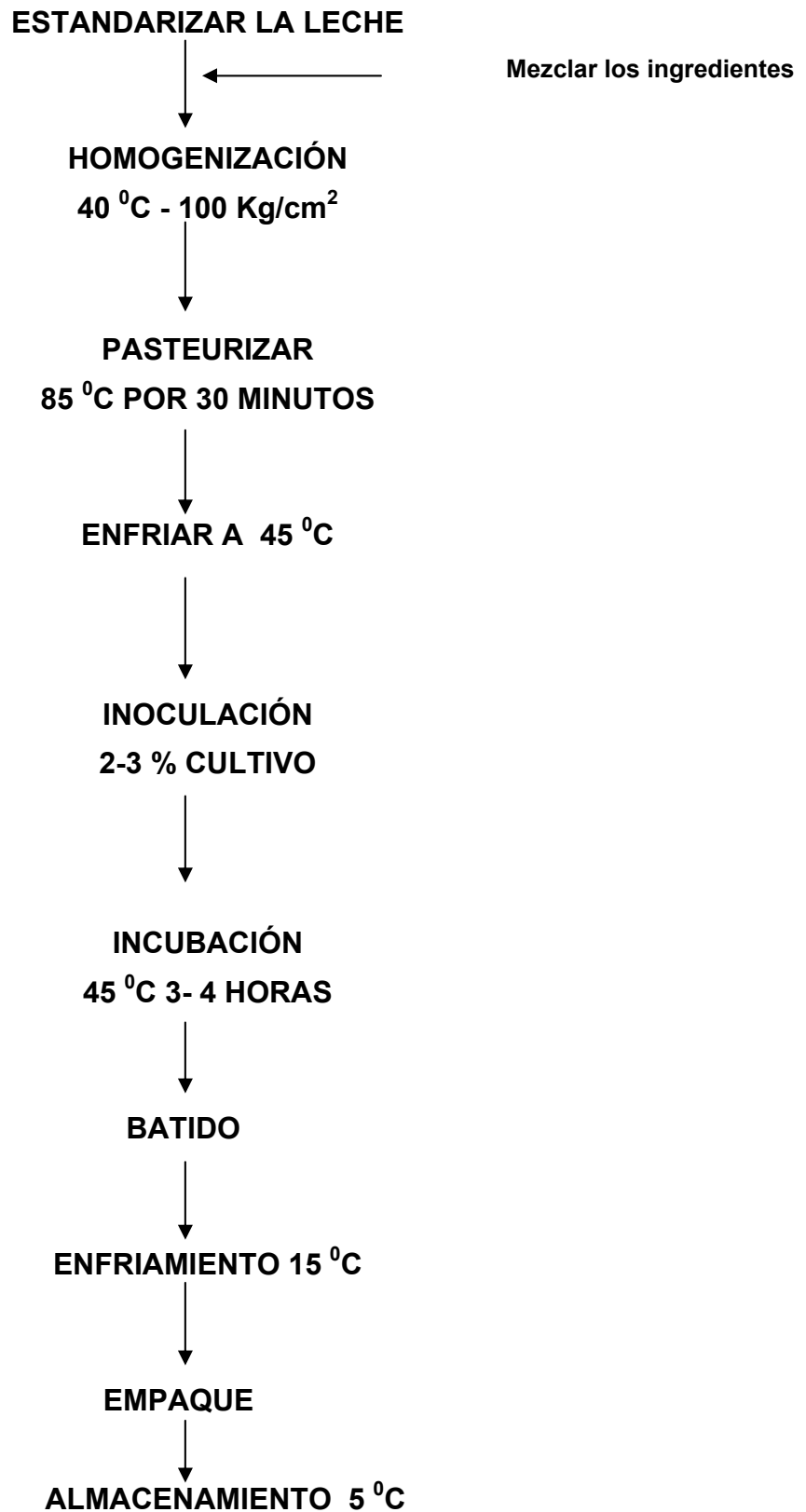


DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE YOGURT



Lista de anexos 2

Anexo

Página

- | | | |
|---|--|-----|
| 1 | Certificado de análisis del concentrado de proteínas empresa productora de quesos. | 128 |
|---|--|-----|



Lote 4 Manzana C Parque Industrial El Carmen
Huejatzingo, Puebla C.P. 72760 México
Tel. (227) 276.90.09 Fax. (227) 276.90.08

REPORTE DE ANÁLISIS EN LABORATORIO

Nombre del cliente:	Empresa productora de quesos.
Nombre del producto:	Suero Concentrado
Fecha del análisis:	1 de Junio de 2007

Tipo de Análisis:

Fisicoquímico.-

	Resultado
pH polvo (1:9)	7.97
Humedad:	5.14
% Proteínas	47.32

Microbiológico.-

	Resultados
	Polvo
Cuenta estandar ¹ (UFC/gr)	300
Hongos y Levaduras ² (UFC/gr)	<10
Coliformes ³ (UFC/gr)	<10

1. Determinación de Mesófilos en placa en medio AME, incubados a 35± 2 °C durante 48 hrs.
2. Determinación de Hongos y Levaduras en placa en medio PDA, acidificado con ácido tartárico, incubados a 25±1 °C durante 5 días.
3. Determinación de Coliformes en placa en medio ABRV, incubados a 35±2 °C durante 24 hrs.

REFERENCIAS

Bacteriological Analytical Manual, 1998, 8ª edición.
NORMAS OFICIALES MEXICANAS
NOM-092, NOM-111, NOM-113

Anexo 2. Certificado de calidad del suero en polvo obtenido de empresa productora de quesos

Lista de anexos 3

Anexo	Página
Lactosa	129
Suero	131

Empresas productoras, compradoras y comercializadoras de lactosa y de suero

LACTOSA

Fuente: SIEM (SISTEMA DE INFORMACION EMPRESARIAL MEXICANO) SECRETARIA DE ECONOMIA

RAZON SOCIAL	ESTADO MUNICIPIO	TELEFONO FAX CORREO ELECTRONICO	PRODUCTO SERVICIO
<u>ITALMEX S.A</u> ITALMEX S.A [2006]	DISTRITO FEDERAL COYOACAN	(55)55990230 55990253 amalia.calva@italmex.com.mx	LACTOSA DE POLVO
* <u>ASOFARMA DE MEXICO</u> [2007]	DISTRITO FEDERAL TLALPAN	(55)6782424 6782444 asofarma@asofarma.com.mx	LACTOSA MONOHIDRATADA
<u>ROMACEL, S.A. DE C.V.</u> ROMACEL, S.A. DE C.V. [2006]	MORELOS CUERNAVACA	(777)3131622 3138763 romacel@viaglaned.net	LACTOSA EN POLVO

Fuente: KOMPASS (BANCOMEXT)

Lactosa - Proveedores, importadores, exportadores – México

AISLADOS DE PROTEINA, S.A. DE C.V.	GUADALAJARA 44891 Jalisco [México]
DILAC, S.A. DE C.V.	TLALNEPANTLA 54080 México [México]
NUTRIENTES INTELIGENTES, S.A. DE C.V.	MEXICO 03800 Distrito Federal [México]
VITA DROG, S.A. DE C.V.	MEXICO 11320 Distrito Federal [México]
PROVEEDOR INTERNACIONAL DE QUIMICOS, S.A. DE C.V.	TLALNEPANTLA 54030 México [México]
HOOGWEGT MEXICO, S.A. DE C.V.	QUERETARO 76000 Queretaro [México]

Lactosa pura - Proveedores, importadores, exportadores - México

AISLADOS DE PROTEINA, S.A. DE C.V.	GUADALAJARA 44891 Jalisco [México]
DILAC, S.A. DE C.V.	TLALNEPANTLA 54080 México [México]
CORPORACION SANTA FE, S.A. DE C.V.	SAN NICOLAS DE LOS GARZA 66477 Nuevo León

[México]

PROVEEDOR INTERNACIONAL DE QUIMICOS, S.A. DE C.V. TLALNEPANTLA 54030 México [México]

HOOGWEGT MEXICO, S.A. DE C.V. QUERETARO 76000 Queretaro [México]

Fuente: SIAVI (SISTEMA DE INFORMACION ARANCELARIA VIA INTERNET) SECRETARIA DE ECONOMIA

Exportaciones Lactosa

DULCES REGIONALES TRES REYES, S.A. DE C.V.

ELI LILLY Y COMPAÑIA DE MEXICO, S.A DE C.V.

INMOBILIARIA HOTELERA EL PRESIDENTE CHAPULTEPEC, S.A. DE C.V.

NIPPON SHOKUJIN MEXICANA S A DE C V

SELDER S.A. DE C.V.

Importaciones Lactosa

ADOLFO MORA GUZMAN

ANALITEK, S.A. DE C.V.

CORPORACION SANTA FE, S.A. DE C.V.

CHR HANSEN DE MEXICO S.A. DE C.V.

DARI ALL FOODS INTERNATIONAL, S.A. DE C.V.

ENSAMBLES DE PRECISION S.A. DE C.V.

GLAXOSMITHKLINE MEXICO, S.A. DE C.V.

GOURMET FOOD SERVICE, S. DE R.L. DE C.V.

HELM DE MEXICO SA

HERSHEY MEXICO S.A DE C.V.

HOOGWEGT MEXICO,S.A. DE C.V.

INSTRUMENTAL Y PRODUCTOS VETERINARIOS, S DE RL DE CV

JAMES FARRELL MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.

KERRY INGREDIENTS DE MEXICO, S.A. DE C.V.

MALLINCKRODT BAKER, S.A. DE C.V.

MARIA DEL CARMEN MURRIETA BEJARANO

NOVEON DE MEXICO, S.A DE C.V.

NUTRER, S.A. DE C.V.

SIGMA ALDRICH QUIMICA S.A. DE C.V.

SUPER MERCADO CARNICERIA LA GRANDE, S.A. DE C.V

SUERO

Fuente: KOMPASS (BANCOMEXT)

Polvo de suero de leche - Proveedores, importadores, exportadores – México

DILAC, S.A. DE C.V.	TLALNEPANTLA 54080 México [México]
NUTRIENTES INTELIGENTES, S.A. DE C.V.	MEXICO 03800 Distrito Federal [México]
TODO EN LACTEOS, S.A. DE C.V.	ATIZAPAN DE ZARAGOZA 52966 México [México]
W.M.S. DE MEXICO, S.A. DE C.V.	MEXICO 11560 Distrito Federal [México]
HOOGWEGT MEXICO, S.A. DE C.V.	QUERETARO 76000 Querétaro [México]

Suero de leche deshidratado - Proveedores, importadores, exportadores - México

DILAC, S.A. DE C.V.	TLALNEPANTLA 54080 México [México]
NUTRIENTES INTELIGENTES, S.A. DE C.V.	MEXICO 03800 Distrito Federal [México]

Suero de leche concentrado - Proveedores, importadores, exportadores – México

DILAC, S.A. DE C.V.	TLALNEPANTLA 54080 México [México]
NUTRIENTES INTELIGENTES, S.A. DE C.V.	MEXICO 03800 Distrito Federal [México]
UNION DE GANADEROS LECHEROS DE JUAREZ, S.A. DE C.V.	CIUDAD JUAREZ 32700 Chihuahua [México]

Suero de leche y lactatos - Proveedores, importadores, exportadores - México

ALACEF, S.A. DE C.V.	MEXICO 07780 Distrito Federal [México]
AISLADOS DE PROTEINA, S.A. DE C.V.	GUADALAJARA 44891 Jalisco [México]
DISTRIBUCIONES INDUSTRIALES MAT, S.A. DE C.V.	EL MARQUES 76246 Querétaro [México]
DISTRIBUIDORA RODRIGUEZ, S.A. DE C.V.	MEXICO 04310 Distrito Federal [México]
NUTRIENTES INTELIGENTES, S.A. DE C.V.	MEXICO 03800 Distrito Federal [México]
SHANTY DE MEXICO, S.A. DE C.V.	MEXICO 02530 Distrito Federal [México]
LACTOFORMULAS, S.A. DE C.V.	CUERNAVACA 62290 Morelos [México]

LACTOLAND DE MEXICO, S.A. DE C.V.	MEXICO 06030 Distrito Federal [México]
WORLD MARKETING SERVICES DE MEXICO, S.A. DE C.V.	MEXICO 11560 Distrito Federal [México]
PROVEEDOR INTERNACIONAL DE QUIMICOS, S.A. DE C.V.	TLALNEPANTLA 54030 México [México]
INDUSTRIAS ALIMENTICIAS FABP, S.A. DE C.V.	MEXICO 08700 Distrito Federal [México]

Fuente: SIAVI (SISTEMA DE INFORMACION ARANCELARIA VIA INTERNET) SECRETARIA DE ECONOMIA

Exportaciones

GRUPO DERMET SA DE CV

INDUSTRIAS LACTEAS CHIHUAHUENSES SA DE CV

Suero de leche en polvo, con contenido de proteínas igual o inferior a 12.5%.

Importaciones

ABILAC INGREDIENTES SA DE CV

AGROINDUSTRIAL ZARAGOZA, S.A. DE C.V.

ALIMENTOS BASICOS CHIHUAHUA S.A. DE C.V.

BANCO BILBAO VIZCAYA MEXICO S.A. FIDECOMISO 55147-3

BIMBO SA DE CV

BRISTOL MYERS SQUIBB DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.

COMERCIALIZADORA FRONTERA S.A. DE C.V.

CORPORACION SANTA FE, S.A. DE C.V.

DANONE DE MEXICO S.A. DE C.V.

DARI ALL FOODS INTERNATIONAL, S.A. DE C.V.

DM MEXICANA, S.A. DE C.V.

DULCES BLUEBERRY, S.A. DE C.V.

FONTERRA MEXICO S.A. DE C.V.

GLOBE CHEMICALS S.A. DE C.V.

GRUPO DERMET SA DE CV

GRUPO INDUSTRIAL CUADRITOS BIOTEK, S.A. DE C.V.

HELADOS TREVI DE CHIHUAHUA, S.A. DE C.V.

HELM DE MEXICO SA

HERSHEY MEXICO S.A DE C.V.

HOOGWEGT MEXICO, S.A. DE C.V.

INDUSTRIAS LACTEAS CHIHUAHUENSES SA DE CV

INTERNATIONAL FLAVORS & FRAGRANCES (MEXICO), S.A. DE C.V.

INTERNATIONAL FLAVORS & FRAGRANCES MEXICO, S.A. DE C.V.

JAMES FARRELL MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.

KERRY INGREDIENTS DE MEXICO, S.A. DE C.V.

KRAFT FOODS DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.
LACTICINIOS MEXICANOS, S.A. DE C.V.
LACTOFORMULAS S.A. DE C.V.
LACTOLAND DE MEXICO SA DE CV
LACTOPROT MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.
LAND O LAKES MULTITECNOLOGIAS NUTRICIONALES MEXICO S.A DE C.V.
LEBASI MEXICO, S.A. DE C.V.
MCCORMICK PESA, S.A. DE C.V.
MILE FOODS, S.A. DE C.V.
NESTLE MEXICO, S.A. DE C.V.
NUTRER, S.A. DE C.V.
NUTRICAL, S.A. DE C.V.
NUTRIMENTOS AGROPECUARIOS PURINA, S.A. DE C.V.
NUTRIMENTOS TECNIFICADOS, S.A. DE C.V.
OPERADORA DE LACTEOS SANTA JULIA S. DE R.L. M.I.
POSTRES CONGELADOS JUAREZ SA DE CV
PRODUCTOS KRAFT S. DE R.L. DE C.V.
PRODUCTOS LACTEOS POMAS, S.A. DE C.V.
PROTEINA LACTEA PROLAC S.A. DE C.V.
RAFF, S.A. DE C.V.
SABRITAS,S.DE R.L.DE C.V.
SCHREIBER MEXICO S.A. DE C.V.
SOYMEX IMPORTADORA, S. A. DE C. V.
T.C.JACOBY & COMPANY DE MEXICO, S.A. DE C.V.
TECNO ESPECIALIDADES COMERCIALES, S.A. DE C.V.
TECNOESPECIALIDADES EN ALIMENTOS, S.A. DE C.V.
TRILLIUM INTERNATIONAL S.A. DE C.V.
VANIMANIA S.A. DE C.V.
VERNELL INDUSTRIES S.A. DE C.V.