

200027

1
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

Estudio Bibliográfico de la Elaboración, Análisis
y Aplicaciones del Concentrado de Proteína
de Suero de Leche como Materia Prima
en Alimentos.

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de:
QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO
P r e s e n t a:
BETTY GABRIELA ALONSO DE LA TORRE

Asesor Académico y de Tesis:
Q. B. F. MARIANO LLERA FANJUL

México, D F.

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

I ANTECEDENTES-----	1
II OBJETIVO-----	8
III INTRODUCCION-----	9
(1) HISTORIA-----	9
(2) ¿QUE ES EL LACTOSUERO?-----	10
(3) DIFERENTES TIPOS DE LACTOSUERO Y SU UTILIZACION---	12
(4) LAS PROTEINAS DEL LACTOSUERO-----	16
(a) La beta-lactoglobulina-----	22
(b) La alfa-lactoalbúmina-----	25
(c) Otros componentes proteicos-----	26
(5) EL CONCENTRADO DE PROTEINA DE SUERO DE LECHE-----	28
IV FABRICACION Y ELABORACION DEL CONCENTRADO DE PROTEINA	
DE SUERO DE LECHE-----	32
(1) MATERIA PRIMA-----	33
(2) PRETRATAMIENTOS DE LA MATERIA PRIMA-----	38
(a) Microfiltración-----	39
(b) Desmineralización-----	40
(c) Tratamiento térmico-----	46
(d) Hidrólisis enzimática-----	46
(e) Clarificación y filtración-----	47
(3) ULTRAFILTRACION-----	49
(a) Las membranas-----	51
(b) Factores que afectan al flujo en la UF-----	52
(c) Condiciones del proceso de UF-----	55
(d) La diafiltración-----	61
(e) Subproductos obtenidos de la UF-----	61

(4) OSMOSIS INVERSA-----	62
(a) Condiciones del proceso de la OI-----	66
(b) Productos obtenidos por OI-----	67
(5) LIMITACIONES DE LA OSMOSIS INVERSA Y DE LA ULTRAFILTRACION-----	68
(6) PRECIPITACION-----	69
(a) Precipitación por calentamiento (coagulación)---	69
(b) Precipitación con polifosfatos (agentes complejantes o quelantes)-----	71
(c) Precipitación con agentes químicos-----	73
(7) FILTRACION EN GEL-----	75
(8) UNA MODALIDAD DEL CONCENTRADO DE PROTEINA-----	78
(9) CASOS ESPECIALES-----	79
(a) Concentrado de proteína de chícharo y lactosuero-----	79
(b) Concentrado de proteína de soya y lactosuero----	81
(10) ALMACENAMIENTO-----	83

V CARACTERISTICAS, PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y REOLOGICAS

DEL CONCENTRADO DE PROTEINA DE SUERO DE LECHE-----	86
(1) ANALISIS Y CONTROL DE CALIDAD DEL CONCENTRADO DE PROTEINA DE SUERO DE LECHE (CPS)-----	86
(a) Suero fluido-----	86
(b) Concentrado de proteína de lactosuero (CPS)-----	86
(c) El almacenamiento-----	87
(d) Calidad de la proteína-----	87
(e) Análisis cualitativo y cuantitativo de la proteína presente en el CPS-----	88

(f) Análisis de la funcionalidad-----	89
(g) Determinación de grasa-----	90
(h) Análisis de un polvo-----	91
(i) Diferentes pruebas que se efectuan en el CPS-----	92
(j) Determinación de protefna de CPS cuando lo con tiene un alimento-----	93
(k) Determinaciones en productos con CPS y de los diferentes tipos de CPS-----	93
(l) Determinación de calcio y magnesio-----	95
(m) Determinación de nitratos y nitritos-----	96
(2) LA DESNATURALIZACION-----	96
(3) PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL CPS-----	104
(a) Dispersabilidad-solubilidad-----	105
(b) Viscosidad-estabilidad-capacidad espesanté-----	110
(c) Emulsificación-----	111
(d) Expansión de espumas-estabilidad-----	117
(e) Adsorción de agua-ligante de ingredientes-pc der de hidratación-----	119
(f) Gelatinización-formación de fibra-----	120
(g) Valor nutritivo-digestibilidad-ingrediente die tético-----	124

VI USOS Y APLICACIONES EN ALIMENTOS DEL CONCENTRADO DE PRO TEINA DE SUERO DE LECHE-----	126
(1) ALIMENTO PARA LACTANTES-----	126
(2) BEBIDAS FRUTALES-----	127
(3) BEBIDAS LACTEAS-----	128
(4) CEREALES-----	130

(5) COBERTURAS DE CHOCOLATE-----	131
(6) COMPLEMENTO NUTRICIONAL-----	131
(7) CONFITERIA-----	132
(8) ESTUDIOS ENZIMATICOS-----	133
(9) HARINAS PARA PASTELERIA-----	134
(10) HELADOS-----	134
(11) MEZCLAS ALIMENTICIAS-----	135
(a) Mezclas soya-CPS-----	137
(b) Mezclas CPS-caseinato de Na o K-----	137
(c) Mezclas CPS (de suero dulce) con caseinato de Na y/o Ca-----	137
(d) Mezclas CPS con caseinato de Ca-----	137
(e) CPS con caseinato de Na y/o de Ca-----	137
(f) CPS proveniente de suero dulce con aislado de soya y caseinato-----	138
(g) CPS de suero dulce con sólidos refinados de soya-----	138
(h) CPS de suero dulce con sólidos refinados de soya y sulfato de calcio-----	138
(i) CPS de suero dulce, leche descremada en polvo y caseinato de Na-----	138
(j) CPS con caseinato de Na y/o Ca-----	139
(12) PANIFICACION-----	139
(13) PASTAS PARA SOPAS-----	148
(14) PRODUCTO DE USO DOMESTICO-----	148
(15) PRODUCTOS CARNICOS PROCESADOS-----	149
(16) QUESOS-----	151

(a) Queso cottage-----	151
(b) Queso ricotta-----	152
(c) Queso cheddar-----	152
(d) Quesos procesados-----	152
(17) SUSTITUTO DE HUEVO-----	154
(18) SUSTITUTO DE LECHE DESCREMADA-----	155
(19) TORTILLAS-----	156
(20) YOGURT-----	156
VII DISCUSION Y CONCLUSIONES-----	159
VIII BIBLIOGRAFIA-----	165
IX ANEXOS-----	180
(1) INDICE DE FIGURAS-----	180
(2) INDICE DE TABLAS-----	180
(3) INDICE DE GRAFICAS-----	181
(4) ABREVIATURAS-----	181

I ANTECEDENTES.

Desde 1968 México utiliza un promedio anual de 1400 millones de litros de leche entera y fresca para la producción de diversos tipos de quesos. De esta cantidad de leche solamente el 10% se convierte en queso, el 90% restante en suero de leche líquido (equivalente a 1260 millones de litros).

Si se procesa el suero líquido y se considera que para obtenerlo en polvo se tiene un rendimiento del 5%, entonces, 1260 millones de litros se transforman aproximadamente en 63 millones de Kg (63000 toneladas anuales) de suero sólido potencial. Se dice potencial porque es la cantidad de suero de leche en polvo que se podría llegar a producir si se utilizara y procesara todo ese suero líquido. Sin embargo, a partir de 1985 la demanda anual de suero en polvo en México es de 9000 toneladas mas o menos, contra un a producción que oscila entre 4500 y 6000 toneladas anuales, lo cual implica un déficit de entre 4500 y 3000 toneladas.

En 1982 hubo un caso excepcional debido a la devaluación de la moneda donde la producción anual de suero de leche fue de 1120 millones de litros, los cuales hubieran producido un potencial de sólidos de 67200 toneladas. En ese año se alcanzó a industrializar un 33% de la producción de lactosuero (22176 toneladas) (91).

En nuestro país no solo no se cubre la demanda nacional, sino se está muy lejos de alcanzar la cantidad potencial; cosa no tan grave, como lo es el considerar que del suero líquido-

do, el 90% se desperdicia o se utiliza como tal y el 10% se procesa para secarlo; porcentajes representativos de una pérdida alarmante (142).

El lactosuero líquido, además de ser considerado un desperdicio (procesado tiene un gran valor nutritivo ya que contiene la mitad de los sólidos de la leche, entre ellos las proteínas (22)), es un problema al desecharlo. Cuando es ácido por su alto contenido de ácido láctico, se encuentra a temperatura elevada o contiene cantidades considerables de sales (NaCl) presenta efectos corrosivos (118) y daña tuberías y depósitos del drenaje. Muestra también el problema de la alta demanda de oxígeno biológico que combinado con el contenido de agua crea un contaminante para la naturaleza (22): 100 Kg de lactosuero líquido equivalen a las aguas fecales producidas por 45 personas (60). Por un lado el desalojarlo cuesta dinero y por otro es un material orgánico que consume rápidamente el oxígeno disponible para la existencia de ciertos organismos (contaminación ecológica). Si es arrojado a hábitats acuáticos ocupados por organismos útiles al ser humano, produce un efecto letal porque el hábitat es atacado por microorganismos aeróbicos que reducen el oxígeno presente utilizándolo en sus fermentaciones y provocando que los otros organismos mueran. El agua presenta una apariencia muerta y hedionda con formación de un cieno negro indicador de la descomposición incompleta por falta de oxígeno (91). Para evitar esto hay que procurar reducir la cantidad de agua y de lactosa en el suero antes de desaguarlo (93).

Lo anterior muestra la necesidad y conveniencia de su industrialización.

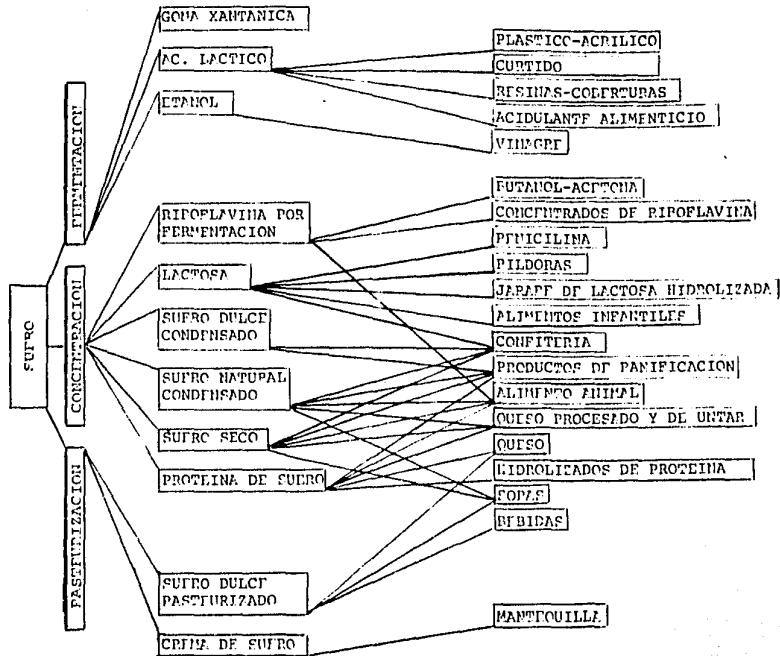
En México hay grandes distancias entre las queserías. El flete de suero líquido es caro, contiene poca concentración de sólidos y prácticamente se transporta agua refrigerada. Habría que recolectar una cantidad suficiente del mismo en localidades situadas a distancias cercanas para poder concentrarlo y aminorar el costo y procurar la comercialización de una manera más accesible. A menudo el fabricante de queso paga el flete logrando le reciban el suero en las plantas deshidratadoras. No recibe nada a cambio pero evita los problemas con la Secretaría de Salubridad y Asistencia por desecharlo, las multas e inclusive la clausura de su industria.

El problema ha llegado a tal grado, generando se rocíe el suero como fertilizante en la tierra (106); con el tiempo, el crecimiento del pasto es pobre debido al exceso de sales presentes en la tierra (91).

En los últimos años se ha buscado el poder suplir los caseinatos y la leche descremada en polvo por productos más viables y económicos, y están en primera instancia los concentrados de proteína de lactosuero y los aislados de soya (5). Considerando el material desperdiciado anualmente, el requerimiento calórico de millones de personas y la crisis mundial de alimentos, el desecho del suero es un error enorme (81).

Dependiendo del tratamiento aplicado, es posible obtener diferentes categorías y variedades de productos como los indicados en la figura # 1 (70).

Figura # 1. Categorías y variedades de productos obtenidos del lactosuero (70).



En materia de importación y exportación según datos estadísticos investigados en el Instituto Mexicano de Comercio Exterior, se muestra que hasta 1982 se importaba todo tipo de lactosuero en polvo de acuerdo a las necesidades del país; a partir de ese año se canceló toda importación excepto la del suero desmineralizado. En cuanto a exportación, hasta ahora, el país no ha participado, aún cuando existe la capacidad instalada.

La capacidad instalada actualmente en México es de mas o menos 19000 toneladas anuales (1987), sin embargo, ésta es del tipo compartido. El equipo existente no sólo se utiliza para secar y procesar determinado tipo de suero, sino se alterna con otro tipo de materia prima. Existen aproximadamente 20 plantas procesadoras situadas en diferentes sitios de la República Mexicana; no todas constan de la misma tecnología para secar suero y la mayoría se dedica a la obtención del suero entero en polvo, sin ninguna modalidad o mejoramiento.

La industria pequeña (la mayoría en México) tiene serios problemas para secar suero porque ni siquiera cuenta con la maquinaria adecuada (22). Ninguna fábrica procesa la obtención de concentrados de proteína a partir de suero líquido y el hacerlo podría beneficiar enormemente a la nación. En otros países se ha pretendido incrementar la utilización del lactosuero convirtiéndolo en diferentes tipos de concentrado de proteína apropiados para el enriquecimiento de los alimentos y para proporcionar ciertas características deseables (78).

Cuando se habla de un concentrado de proteína los costos

aumentan comparando con el hecho de solamente secar el lactosuero, sin embargo, hay factores como el nutricional que hacen superior al concentrado y que justifican su utilización por un precio ligeramente mayor (78). La producción de proteína animal es escasa y hasta 1976 la industrialización del suero no tenía cabida. Ahora, la proteína recuperada del lactosuero se puede emplear inclusive, en el enriquecimiento de un producto alimenticio básico, tradicional y popular; llegando así a todos los niveles socioeconómicos de la población (109). Por otro lado muchos alimentos requieren de incrementar su contenido en sólidos para mejorar cuerpo, textura, viscosidad, sensación en el paladar, etc. y el suero, la fuente más económica de los sólidos de la leche, ya sea en su forma nativa o como concentrado de proteína, es un ingrediente que frecuentemente cumple satisfactoriamente (98).

El concentrado de proteína suplementa también las necesidades básicas de la dieta humana (14) y su manejo incrementa los valores reales a explotar de un ingrediente que es funcional en los alimentos; la proteína es definitivamente un complemento alimenticio (138).

Los fabricantes de alimentos comienzan a ser conscientes del hecho de utilizar todo tipo de materia prima y subproducto obtenido en cualquier operación. El fraccionamiento del lactosuero asegura el aprovechamiento total de tan mencionada materia prima con posibilidades de acomodar proteína en un mercado ilimitado y variado (112).

En Conclusión: "En este tiempo suero y desperdicio ya no

son sinónimos" (137); se puede utilizar el lactosuero convertido en concentrado de proteína como alimento humano, presentándolo en forma apetitosa y sabrosa (59).

II OBJETIVO.

El suero de leche en polvo en sus diferentes presentaciones, se acepta cada vez más como un ingrediente en la fabricación de muchos alimentos de toda clase, para todas las edades y para todos los niveles socioeconómicos. Ofrece un diversificado campo de aplicación.

Entre los diferentes tipos de suero de leche existe uno de alto valor nutritivo conocido como concentrado de protefna, el cual es un ingrediente aportador de beneficios económicos, de calidad y de gran variedad de uso.

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un estudio completo sobre el concentrado de protefna; de donde y cómo se obtiene; bajo qué condiciones hay que manejarlo; el equipo y procesos adecuados para comercializarlo; cómo y en qué se utiliza; qué propiedades y cualidades brinda a los alimentos al incluirlo en ellos; qué beneficios promueve y a qué tipo de control de calidad hay que someterlo.

Por otro lado se llegará a una discusión y conclusión sobre las diferentes posibilidades de introducirlo en México, basándose en el hecho de aprovechar lo que hasta ahora está considerado como un desperdicio y que crea muchas dificultades al ser desechado.

III INTRODUCCION.

(1) HISTORIA.

El procesamiento del lactosuero comenzó en los Estados Unidos de Norte América en 1930 como un proyecto comercial casi imposible. Se perseguía como objetivo primordial el poder obtener nutrientes valiosos presentados en forma adecuada. Se empezó por concentrar lactosuero entero, pero por su alto contenido de humedad, la distribución estuvo limitada por los altos costos del flete y la poca vida de anaquel conseguida. Con la invención del secador por aspersión estos problemas se eliminaron pudiendo llegar con el tiempo a grandes volúmenes de producción.

Más eventos influenciaron el crecimiento y estructura de la industria del lactosuero y en 1940 se logró la comercialización de lactosa y de suero comestible. Durante el periodo de 1950 a 1980 se establecieron estándares para el suero y algunos de sus derivados y se desarrollaron procesos de membrana que llevaron a la fabricación de productos modificados del lactosuero. En un principio, el mercado fue pequeño por la incertidumbre que existía en la FDA. De 1970 a 1980 las regulaciones del medio provocaron que los productores de queso procesaran los sólidos del suero para evitar el aumento en costos del tratamiento de la basura; esto sirvió para disminuir la posición dominante del productor independiente.

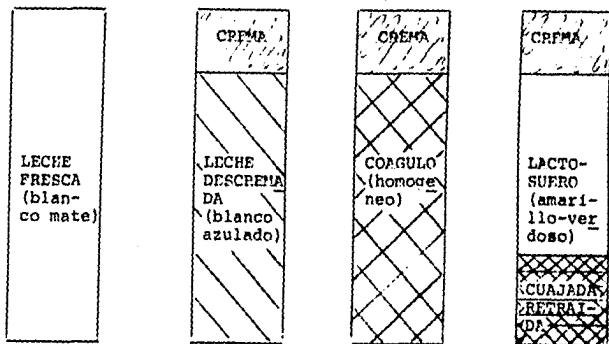
En 1971, el Instituto de Productos de Suero se organiza para ampliar la tecnología y en 1972, algunos fabricantes pi-

den la afirmación GRAS a la FDA para los productos modificados de lactosuero. En 1975 la FDA establece estándares de identidad para la lactosa y el Instituto de Productos de Suero pide a la USFDA que le permita utilizar suero modificado como un ingrediente opcional en salsas cocinadas. Finalmente en 1980 se dió la legislación, regulación y cuestiones administrativas para el lactosuero y sus derivados (46).

(2) ¿ QUE ES EL LACTOSUERO ?

La leche es una emulsión de materia grasa en forma globular, en un líquido que es una suspensión de materias proteicas en un suero constituido por una solución que contiene lactosa y sales minerales. La leche abandonada a temperatura ambiente se separa progresivamente en: crema, lactosuero y cuajada (figura # 2).

Figura # 2. Representación esquemática de las modificaciones que experimenta la leche abandonada a temperatura ambiente (8).



suero se puede recuperar para su utilización en la fabricación de crema o mantequilla de suero (113).

Tabla # 1. Composición del lactosuero líquido (129).

COMPONENTE	%
Agua	94.25
Proteína	0.8
Lactosa	4.3
Cenizas	0.55
Grasa	0.1

(3) DIFERENTES TIPOS DE LACTOSUERO Y SU UTILIZACION.

El suero puede ser dulce (pH=6.2) o ácido (pH=4.6), teniendo el dulce un contenido mayor de minerales (82,86), e independientemente de cual se trate, puede ser secado, fermentado, deslactosado, desmineralizado y desproteínizado; para después someterlo a procesos como la ultrafiltración, ósmosis inversa, intercambio iónico y electrodialisis (91). De hecho, si el suero líquido no se procesa, sólo se le emplea como alimento de la dieta normal del ganado proporcionando nutrientes adecuados, mayor digestibilidad a los rumiantes (42) y propiciando, por otro lado, la capacidad de producción de carne y leche de alta calidad (82). Se le puede mezclar de manera práctica y económica con aditivos para impartir blandura y mejorar

las propiedades funcionales y coloidales de la proteína (47).

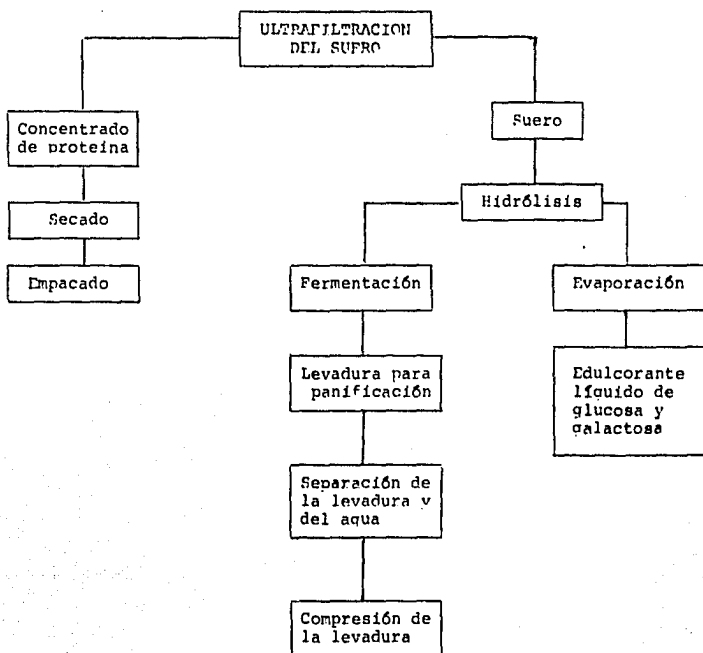
Si se le trata anaeróbicamente, se lleva a cabo una fermentación con producción de metano (123); también se le utiliza como sustrato en el crecimiento de microorganismos como los hongos herbarios comestibles que se pueden emplear como saborizantes (71).

Una aplicación comercial de mayor relevancia, donde éste si se procesa, se aprovecha y no se desperdicia, es convirtiéndolo simultaneamente en levadura para panificación, jarabe dulce de lactosa hidrolizada y concentrado de proteína por un solo proceso llamado ultrafiltración, como se indica en la figura # 3 (11).

Hay literatura que explica la existencia en el extranjero de una planta fabricadora de tres productos diferentes: lactosuero en polvo, concentrado de proteína en polvo y mezclas del tipo "suplemento alimenticio" (figura # 4). Para obtener el suero en polvo, los sólidos no grasos contenidos en la materia prima se someten a evaporación al vacío en un evaporador multietapas hasta alcanzar una concentración del 60% en sólidos, mismos que son secados por el método de aspersión de dos etapas convirtiéndolos en un polvo no higroscópico. En el caso del concentrado de proteína, el suero se pretrata con una pasteurización y se alimenta a la ultrafiltradora en donde se separan, concentran y purifican las proteínas, las cuales posteriormente vuelven a ser pasteurizadas y secadas por aspersión. La línea del filtrado obtenido de la ultrafiltración se somete a evaporación al vacío, se mezcla con los otros

ingredientes alimenticios y después pasa a un secador por aspersión de dos etapas obteniéndose mezclas especiales para hacer formulaciones diversas (15).

Figura # 3. Obtención simultanea de tres productos a partir del lactosuero (11).



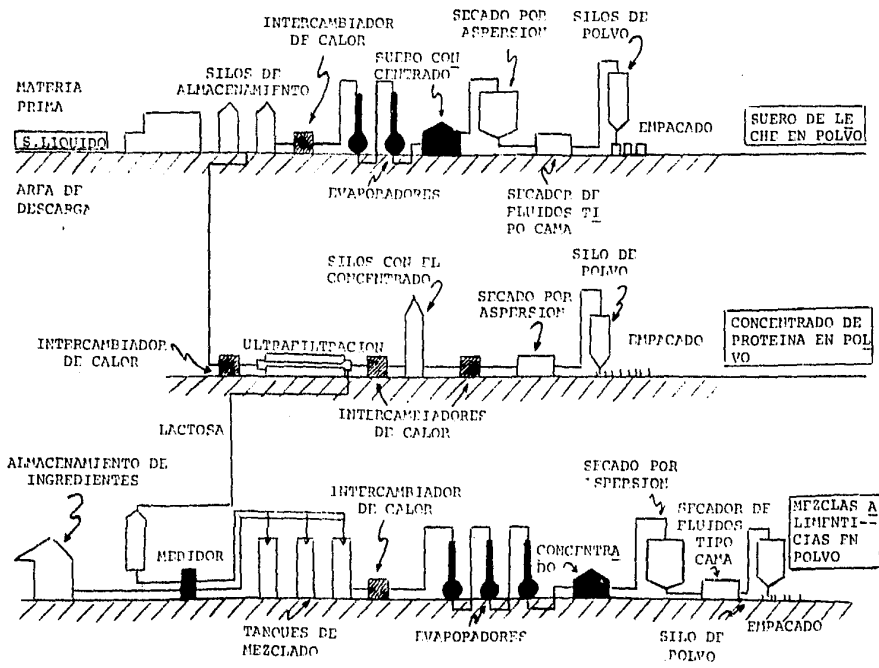


Figura # 4. Tratamiento del suero de leche (15).

(4) LAS PROTEINAS DEL LACTOSUERO.

La composición química de las proteínas de la leche varía con la época del año y con la alimentación del animal. De septiembre a noviembre, las proteínas del suero disminuyen y a finales del invierno alcanzan un máximo (68), presentando propiedades químicas y biológicas diferentes (28). La alimentación interviene en la biosíntesis, nivel energético y porcentaje de nitrógeno de los componentes de la leche. Una vaca mal alimentada puede tener un descenso marcado en la cantidad producida de leche. Cuando se subalimenta o se sobrealimenta el contenido proteico sufre variaciones de poca amplitud. Si la vaca come materias nitrogenadas, en la leche aumenta el nitrógeno no proteico. Cuando el animal sale a pastar y la acción se realiza de manera precoz y brusca el porcentaje de proteína disminuye. Antes de ingerir la hierba es conveniente que se le de una ración adecuada de remolacha, heno y paja para acrecentar de un 8 a 10% de proteína.

Hasta la fecha no se sabe si las vacas por naturaleza propia sufren de fluctuaciones en la secreción de la leche o si reaccionan por reflejo a los cambios climáticos. El clima afecta la producción de leche independientemente de la alimentación y de todo periodo de lactación. Es la temperatura la que definitivamente marca las diferencias entre cada estación. A temperaturas mayores el animal pierde apetito, cosa contraria cuando la temperatura es baja. Además, en invierno la mayor parte del tiempo se requiere de la utilización de luz artificial, cuestión importante puesto que se eleva el valor

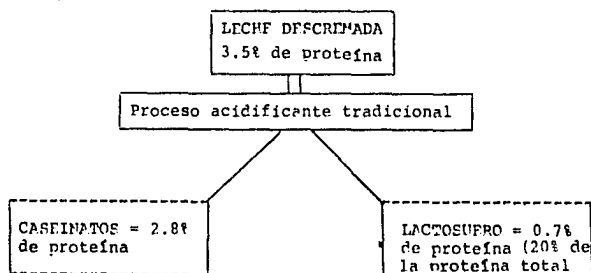
nutritivo de la leche (8).

Los nutrientes clave del suero son las proteínas, las cuales presentan actividad biológica, ya que actúan como enzimas, inhibidores y anticuerpos. Son características de cada especie, poseen propiedades inmunológicas y se producen durante la lactancia en respuesta a un estímulo y regulación hormonal sobre la expresión genética (30). Experimentalmente se comprueba su existencia por radio-inmuno-ensayos de sistemas in vitro de control, síntesis y secreción de las proteínas, reconociéndolas específicamente con antisueros bien definidos e identificando los productos de la glándula mamaria obtenidos por acción del RNA de transferencia y por las especies de RNA mensajero correspondientes. Por otro lado, cada especie presenta información genética diferente en respuesta a factores selectivos durante su evolución. A pesar de que el código genético es universal, los fenómenos de transcripción y traducción son específicos para la biosíntesis de cada una de las proteínas, las cuales a su vez son características de cada especie.

Las proteínas tienen elevado peso molecular, no atraviesan membranas dializables y se precipitan fácilmente de su solución con diversos reactivos. Pertenecen al tipo de los coloides macromoleculares, son una mezcla de holoproteínas (no contienen más que aminoácidos) y glicoproteínas (contienen también glúcidos) que presentan el estado físico de una solución (8). Las holoproteínas no contienen más que ácidos alfa-aminados bajo la forma levógiro "-" y las glicoproteínas

contienen una parte prostética glucídica (8), Corresponden aproximadamente a un 20% del total de las proteínas de la leche (figura # 5) y son solubles en agua incluso en su pH isoelectrico.

Figura # 5. Porcentaje de las proteínas en la leche (12).



Difieren de las caseínas tanto en estructura como en propiedades (75), no se asocian en micelas pero molecularmente se disuelven y son susceptibles a la desnaturalización por calentamiento como consecuencia de su estructura tridimensional y compacta. Cerca de la temperatura de desnaturalización las fuerzas estabilizadoras se balancean con las desestabilizadoras provocando un desdoblamiento de la molécula de proteína. Sin embargo, bajo condiciones apropiadas la proteína vuelve a su estructura tridimensional original; en muchos casos las moléculas desdobladas se polimerizan en agregados de proteínas desnaturalizadas irreversibles. Tanto la estructura de la proteína como la del disolvente son los parámetros que determinan dicha desnaturalización y la funcionalidad de la proteína en

un sistema alimenticio (75). No se precipitan ni pierden su solubilidad bajo tratamientos térmicos rutinarios a pH normal (calentamiento por 20 minutos a 95°C y pH de 4,7). La temperatura a la que comienza su desnaturalización es un poco superior a la temperatura de pasteurización provocando la coagulación y un poco de insolubilidad. La desnaturalización completa se presenta en una hora a 77.5°C o media hora a 90°C (12); se insolubilizan completamente al llegar a los 100°C (68). Precipitan con ácido tricloroacético al 12% (68).

De todas las proteínas, las dos más importantes son la beta-lactoglobulina y la alfa-lactoalbúmina, siendo la primera la más abundante. Ambas son sintetizadas en la glándula mamaria; y las otras proteínas del suero como la albúmina sérica, las inmunoglobulinas y la lactoferrina derivan del torrente sanguíneo (75). En la tabla # 2, se muestran algunas de las características de las proteínas del lactosuero.

Entre los 20 aminoácidos (tabla # 3) que entran en su composición se destaca la ausencia de hidroxiprolina, sin embargo, en la lactoalbúmina existe un alto contenido de triptófano. La presencia de lisina y triptófano en estas proteínas es deseado (14), ya que estos aminoácidos son los nutricionalmente limitantes en otros productos o son los que se pierden durante el cocinado de los alimentos (78). Son valiosos en la suplementación de otras proteínas porque tienen altas concentraciones de aminoácidos azufrados (1.6 a 1.9% de azufre (68)). Tienen tirosina como aminoácido limitante (22).

PROTEINA	TIPOS	% PROT. PRESENTES EN LECHE DESCRIBIDA	PESO MOLEC.	PUNTO ISOELEC	CONTRIBUCION EN PESO g/l*	CONTRIBUCION NUMERICA part/l.+
Lactoglobulina	A* B C	7-12	36000	5.2	3.0	1000
Lactoalbúmina	A B*	2-5	14400	5.1	1.2	500
Albumina sérica	--	0.7-1	70000	4.7	0.3	26
Inmunoglobulinas	Muchos	1-2	200000	5.5-6.8	0.5	15
Fracción proteosa-peptona	Muchos	2-f	200000	---	---	--

* Tipos genéticos que más varían en las leches domésticas.

+ Se refiere a partículas de proteína por litro de leche multiplicándolo $\times 10^{17}$.

° Se refiere a la contribución en peso de la proteína en gr de proteína por litro de leche.

Tabla # 2. Algunas características de las proteínas del lactosuero (8,140).

Tabla # 3. Composición en aminoácidos de las proteínas del lactosuero (8).

% de sustancia en base seca. Los aminoácidos están clasificados de acuerdo al orden en su separación, tal y como se producen en el curso del análisis por cromatografía en columna.

AMINOACIDO	BETA-LACTOGLOBULINA		ALFA-LACTOALBUMINA
	A	B	
Acido aspártico	11.39	10.72	18.65
Treonina	5.01	4.79	5.50
Serina	3.58	3.31	4.76
Acido glutámico	19.12	19.05	12.85
Prolina	5.22	5.08	1.98
Glicina	1.24	1.55	3.21
Alanina	6.70	7.03	2.14
Cistina (1/2)	3.40	3.40	6.40
Valina	6.11	5.72	4.66
Metionina	3.16	3.15	0.95
Isoleucina	6.76	6.79	6.80
Leucina	15.08	14.96	11.52
Tirosina	3.87	3.79	5.37
Fenil alanina	3.53	3.49	4.47
Triptófano	2.62	2.62	7.00
Lisina	11.93	11.62	11.47
Histidina	1.63	1.59	2.85
Arginina	2.78	2.69	1.15

Los aminoácidos según su naturaleza, determinan las propiedades de la proteína y de acuerdo a su acomodo en la cadena lateral influyen en la estructura, solubilidad, susceptibilidad a la desnaturalización por efecto del calor o a la oxidación, en el carácter ácido o básico de la proteína y en

su punto isoeléctrico, La lactoalbúmina es rica en ácido aspártico y la lactoglobulina en ácido glutámico y leucina. Las variedades de la lactoglobulina muestran sólo pequeñas diferencias en la composición de aminoácidos, sin embargo, la desnaturalización por termolabilidad es distinta (68).

(a) La beta-lactoglobulina, - La molécula de lactoglobulina tiene peso molecular aproximado de 36000 g/mol; contiene dos monómeros: las lactoglobulinas β_1 y β_2 que son dos inmunoglobulinas heterogéneas "electroforéticamente discernibles"; una soluble en agua "pseudoglobulina" y una insoluble "euglobulina" (23), unidas fuertemente gracias a los grupos imidazol de histidina y los grupos carboxilo libres atraídos por enlace de hidrógeno a pH fisiológico. La síntesis de la lactoglobulina está bajo control genético y está determinada por dos genes autosomales alélicos, por lo que los designadores genéticos son A y B (β_1 y β_2 respectivamente) (23).

La estructura primaria de esta proteína presenta un grupo sulfihídrido aislado que la caracteriza y se encuentra distribuido igualmente entre las posiciones 119 y 121, mientras que un puente disulfuro se localiza entre los residuos 106 y 121 o 106 y 119 dependiendo de la localización del grupo sulfihídrido (-SH). Hay un segundo enlace disulfuro (S-S) entre los residuos 66 y 160 (23). Por debajo de un pH de 3.5 a causa de la protonación de la proteína se disocia en los péptidos monoméricos. La abundancia de los grupos laterales reactivos (ver tabla # 4) disponibles, permite la formación

de enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares, enlaces disulfuro y uniones iónicas. La lactoglobulina se puede hidratar uniéndose con el agua debido a los grupos polares de los aminoácidos que contiene. Su estructura se ve afectada por cambios en el pH, la temperatura y cargas iónicas a pesar de que muestra cierta flexibilidad en su estructura nativa. A pH's superiores de 5.2 la molécula muestra un incremento gradual en la levorotación, dando lugar a un desdoblamiento de las cadenas de péptidos que la constituyen. Esta tendencia es menos marcada cuando las concentraciones tanto de proteína como de iones inorgánicos son altas. Los efectos de pH se acentúan con el aumento de temperatura. La temperatura y el tiempo ejercen tremendos efectos en la conformación de la proteína a pH alcalino y los grupos -SH se exponen como resultado del desdoblamiento. Estos grupos -SH, se pueden oxidar mientras el pH o la temperatura aumenta y los enlaces inter e intramoleculares suceden después. El calor y los valores de pH superiores a 6 inducen cambios irreversibles incluyendo polimerización homogénea y heterogénea (68). A pH 8.3 y 0°C. la molécula se desnaturaliza.

La desnaturalización térmica de la lactoglobulina involucra dos pasos secuenciales. A concentraciones normales la proteína existe como un dímero. Durante su calentamiento entre 30 y 50°C el dímero se disocia en la forma monomérica. A temperaturas superiores de los 65°C sus cadenas se desdoblan rápidamente debido a que se rompen los enlaces de hidrógeno, los hidrofóbicos y los S-S; lo que va acompañado de la

exposición de grupos -SH y de un aumento en el peso de la molécula debido a la agregación vía enlaces S-S recientemente formados. Este paso es parcialmente reversible, El segundo paso es de desnaturalización irreversible e involucra la formación de nuevos grupos -SH y su oxidación con agregación gradual a través de la aparición de enlaces S-S e hidrofóbicos tanto intra como intermoleculares.

Tabla # 4. Grupos reactivos de las variedades de la beta-lactoglobulina (68).

GRUPO	ANÁLISIS POR TITULACION				ANÁLISIS DE AMINOACIDOS	
	NATIVA A	NATIVA B	NATIVA AB	D* AB	A	P
Alfa-carboxí lico	52	50	51	53	2	2
Carboxilo de cadena late- ral	52	50	51	53	52	50
Imidazol	6	6	6	4	4	4
Alfa-amino	2	2	2	-	2	2
Tiol	-	-	-	2	2	2
Fenólico	-	-	34	6	8	8
Amino de ca- dena lateral	-	-	34	28	28	28
Guanidil	-	-	-	-	6	6

D*=desnaturaizada.

En presencia de iones Ca^{+2} la agregación y la precipitación de la proteína son dependientes del pH del medio. El Ca^{+2}

se puede enlazar covalentemente con los grupos carboxilo expuestos y desprotonados, mientras la proteína se desdobra, acelerándose así el alcance del punto isoeléctrico y la misma insolubilidad de la proteína (68). Se ha visto que la desnaturalización de la beta-lactoglobulina A y B sigue una cinética de reacción de 2o. orden (55) completamente dependiente de la temperatura, velocidad del calentamiento y pH (115).

(b) La alfa-lactoalbúmina.- La molécula de la lactoalbúmina corresponde al 21% de las proteínas del suero de leche, tiene un peso molecular menor al de la lactoglobulina (aproximadamente 16000 g/mol). Se ha detectado que presenta polimorfismo en ciertos organismos designándose las especies genéticas A y B (23). Su estructura primaria es similar a la de la lisozima del huevo blanco de gallina, sin embargo, su composición y su función difieren; ambas contienen 51 residuos de posición idéntica, incluyen 4 enlaces S-S y 24 residuos adicionales con estructura similar. Se sugiere que la lisozima y la albúmina surgen de los mismos genes ancestrales por el proceso de la duplicación de gene y divergencia. La lactoalbúmina interviene en la síntesis de la lactosa, ya que es la proteína B de la lactosa-sintetasa que está formada por las proteínas A y B. La proteína B actúa de acuerdo con la A como un especificante proteico en la catálisis de la lactosa-sintetasa (79). La proteína A es una galactosil transferasa que en ausencia de la alfa-lactoalbúmina transfiere galactosa de UDP-galactosa a la N-acetil-glucosamina. En el tejido mamario en la presencia de la alfa-lactoalbúmina la transferen-

cia de la galactosa de la UDP-galactosa es la glucosa, formando así el azúcar de la leche: la lactosa (23).

La solubilidad de la lactoalbúmina es mínima cerca del pH de 5.4. En pH=5.0 se polimeriza lentamente, especialmente cuando se aplica calor o cuando la fuerza iónica aumenta. La presencia de aniones reduce la carga molecular y facilita la asociación y agregación intermolecular (68). La lactoalbúmina también se desnatura siguiendo aparentemente una reacción de 1er. orden (55). Muestra el mayor porcentaje de renaturalización ya que va de un 80 a un 90% de reversibilidad. Es la más resistente de todas las proteínas del suero (115).

(c) Otros componentes proteicos.-

* La lactoferrina.- es la proteína quelante de hierro que posee un efecto bacteriostático contra la Escherichia coli. Es de origen sanguíneo (76). Cuando la lactoferrina está saturada con Fe muestra una desnaturalización compleja. El enlace de hierro a la lactoferrina hace que las transiciones térmicas se agudicen a temperaturas más altas. La Fe-lactoferrina se ve afectada por la velocidad de calentamiento. La baja temperatura de desnaturalización de esta proteína cuando se encuentra saturada, se debe a la presencia de especies monoférricas (115).

* Fracción proteosa-peptona.- Es una parte proteica complementada con carbohidratos como: hexosa, hexosamina y ácido N-acetilneuramínico (ácido siálico) (68); es estable al calor y al ácido (23). Comprende un conjunto de sustancias de peso molecular intermedio entre las proteínas y los

péptidos. En la leche está presente en muy poca cantidad (8).

* Albúmina sérica.- Al igual que la alfa-lactoalbúmina es electroforéticamente homogénea (96).

Se conoce que esta proteína es la encargada de transportar ácidos grasos insolubles en el sistema circulatorio sanguíneo. Los ácidos grasos en determinados tratamientos térmicos impiden y protegen a la proteína de la desnaturalización (141).

La molécula muestra muchos traslapes endotérmicos por lo que la desnaturalización es compleja y se debe a la obtención de formas intermedias debidas a reacciones de intercambio de grupos SH-SS (115).

* Inmunoglobulinas.- Son monómeros o polímeros de una molécula de cuatro cadenas formadas de dos subcadenas polipeptídicas ligeras y dos subcadenas pesadas entrecruzadas por enlaces disulfuro.

Son tres: inmunoglobulina G_1 , inmunoglobulina G_2 e inmunoglobulina A (23).

Su desnaturalización es simple y simétrica, siendo la temperatura de desnaturalización completamente dependiente de la velocidad de calentamiento. Sin embargo, al ser la temperatura alta se ha notado que no se afecta tanto como otro tipo de proteínas, por lo que se les considera resistentes (19).

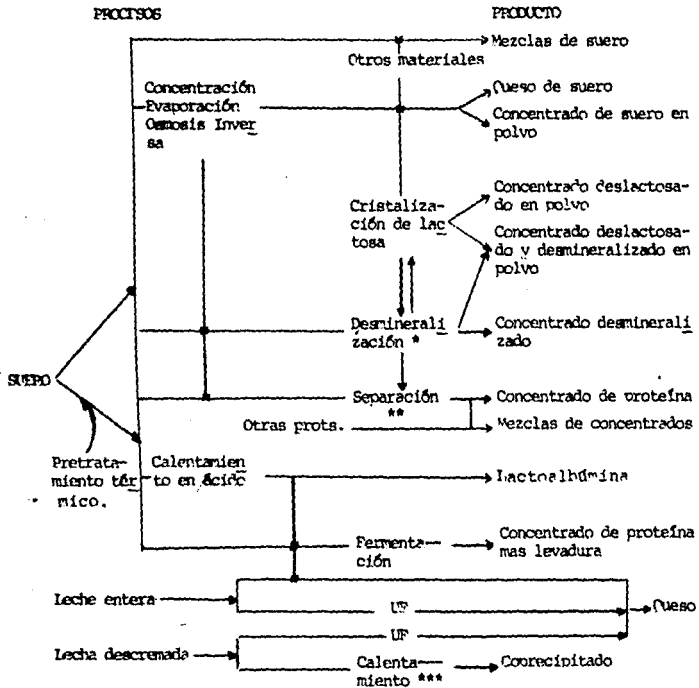
(5) EL CONCENTRADO DE PROTEINA DE SUERO DE LECHE,

Está comprobado que el PER de las proteínas del lactosuero es superior al valor de las caseínas (3.2-3.4 y 2.5 respectivamente) (25), el concentrado de proteína obtenido a partir del lactosuero contiene las proteínas mencionadas anteriormente en concentraciones variadas y algunos o todos los componentes restantes del suero dependiendo del origen de la leche, tipo de queso y variaciones en su procesamiento. Así se producen diferentes clases de suero y por lo tanto de concentrados de proteína (91) como se indica en la figura # 6 (86).

La separación de los componentes del suero por ultrafiltración, intercambio iónico, electrodiálisis, precipitación selectiva, ósmosis inversa, etc., se usa para producir artículos con alto contenido proteico. Se ha estudiado que estos procesos son convenientes ya que además del concentrado de proteína dan por otro lado una solución diluida de lactosa y sales. Esta nueva solución podría ser considerada un desperdicio y sin embargo, al igual que el lactosuero se puede comercializar para obtener lactosa (que corresponde aproximadamente a un 75% en base seca del contenido del suero) (21). La lactosa es un buen sustrato para la obtención de etanol (93) o de metano que posteriormente se puede utilizar en procesos de calentamiento implicando un ahorro de energía (93,75); sirve como fuente de carbono para la fabricación de biomasa con hongos filamentosos obteniéndose proteína unicelular; posterior o paralelamente se puede obtener de los microorganismos

mos la enzima beta-galactosidasa (121), la cual es importante para la digestibilidad y propiedades funcionales de los derivados lácteos que contienen lactosa, más aún si el suero contiene niveles altos de NaCl (118).

Figura f 6. Fabricación industrial de productos proteicos a base de lactosuero mostrando algunos de los procesos y utilizados a nivel comercial y planta piloto (86).



* Desmineralización realizada por intercambio iónico o electrodiálisis.

** Separación por ultrafiltración (UF) filtración en gel, adsorción o agentes precipitantes.

*** Calentamiento ácido o con calcio Ca^{+2} .

A la lactosa se le hidroliza con cantidades mínimas de lactasa de Saccharomyces lactis cuando el suero utilizado como materia prima es neutro (27), obteniéndose jarabes de glucosa y galactosa (110, 43). Industrializada en forma anhidra adsorbe grandes cantidades y variedades de compuestos volátiles. Sirve para prolongar y aumentar los aromas de especias. Se le utiliza en la fabricación de café instantáneo durante el tostado y secado del mismo; además la lactosa acentúa los sabores y se le incluye cuando se necesitan niveles bajos de poder edulcorante (97).

Se puede decir que el concentrado de proteína es suero de leche procesado mediante variados métodos y secado para comercializar un producto de diversas presentaciones y de componentes y concentraciones variadas, según las necesidades del que lo va a utilizar (3). En la tabla # 5 se muestra la composición de diferentes tipos de concentrado de proteína. Los dos primeros son insolubles y los cuatro siguientes solubles (134). Esto quiere decir que sus propiedades funcionales cambian de acuerdo al método de obtención del mismo. Dichas propiedades se ven gobernadas por las variaciones ocurrientes en la conformación globular de las moléculas (140). Entre éstas se encuentran la capacidad de batido y de gelificar, el ser agentes surfactantes activos estabilizadores de emulsiones (142), ser solubles en agua en un amplio rango de pH, resistir el calentamiento y ser ligante de agua y de grasa a la vez, teniendo facultades hidratantes y emulsificantes (16).

El concentrado de proteína a veces funciona en unas for-

mulaciones y en otras no. Por un lado existe una interacción de todos los componentes de la fórmula, y por otro, se necesita considerar la proporción existente de cada uno para poder evaluar el comportamiento de cada ingrediente y el procedimiento de fabricación a utilizar (4).

Tabla # 5. Análisis proximal de diferentes tipos de concentrado de proteína de lactosuero (134).

TIPO DE CONCENTRADO	N TOTAL %	NPN %	(TN-NPN) 6.38 %	HUMEDAD %	LACTOSA %	CENIZA %	GRASA %
Lactoalbúmina seca da por anillos	12.93		82.5	9.54	1.4	1.01	3.8
Lactoalbúmina seca da por aspersión	13.12		83.7	6.67	2.7	1.32	3.6
Concentrado de prot. de suero ácido *	8.05	0.17	50.3	2.88	33.8	4.86	4.2
Concentrado de prot. de suero ácido *	11.64	0.12	73.5	6.32	7.9	1.43	6.5
Concentrado de prot. de suero dulce *	8.93	0.78	52.0	6.13	22.3	4.44	5.5
Concentrado de prot. de suero dulce *	12.53	2.22	65.8	6.21	6.9	3.06	6.5

* Obtenidos por el método de ultrafiltración

El concentrado de proteína contiene de las mejores proteínas hasta ahora conocidas (60), inmejorable valor nutricional y propiedades funcionales prometedoras.

IV FABRICACION Y ELABORACION DEL CONCENTRADO DE PROTEINA DE SUERO DE LECHE.

El suero es la materia prima para obtener el concentrado de proteína y se encuentra en forma líquida, por lo que existen tres procesos fundamentales para industrializarlo: ultrafiltración, ósmosis inversa y precipitación selectiva; los cuales principalmente se encargan de la extracción a diferentes grados de la lactosa de la solución hídrica, para obtener concentrado de proteína de diferente calidad. Cada concentrado tiene composición y utilidad diferente; para su comercialización se requiere de equipo especializado que trabaja y se maneja bajo variadas condiciones, como son: temperatura, pH, tiempos de residencia y presencia o adición de otras sustancias.

Generalmente un paso posterior al proceso de obtención del concentrado es el secado del mismo, ya que se le conoce en forma de polvo. El método más utilizado es el de aspersión y a veces el de anillos, presentando el primero mayores ventajas. El secado por aspersión destruye enzimas y bacterias que presentan una termorresistencia influenciada por el contenido de sólidos del concentrado. A mayor contenido, tanto las bacterias como las enzimas presentan mayor termorresistencia (26).

El equipo utilizado para obtener el concentrado, tiene la ventaja de que se le puede emplear para la fabricación de otro tipo de productos, lo cual hace ver más atractiva una

posible inversión; además de que la misma manufactura del concentrado trae como consecuencia productos secundarios aprovechables como la lactosa (139).

(1) MATERIA PRIMA.

El lactosuero, materia prima para la obtención del concentrado de proteína, debe cumplir con ciertos requisitos (cierta calidad). Hay que manejarlo y controlarlo adecuadamente desde su transporte de la quesería (pH superior a 6.1 y cuenta microbiana baja). A veces se prefiere que en la misma quesería se le someta a una pasteurización e inmediatamente sea enfriado para colocarlo en tanques tractores refrigerados y así llevarlo a la planta procesadora (18). Esto evitará problemas posteriores como el tener que neutralizarlo (91) o pasteurizarlo (138). Durante su transportación a la planta procesadora se le puede preconcentrar a 1.2% de proteína en el tanque tractor que puede llevar un sistema parecido al de la ósmosis inversa (138).

El industrial necesita saber el tipo de suero de leche a manejar como materia prima. El suero ácido posee niveles altos de aminoácidos libres y péptidos solubles en comparación al suero dulce. Ver tabla # 6 (91).

Cuando la leche de donde se va a obtener el lactosuero se calienta con anterioridad a la fabricación del queso cerca de la ebullición (ultrapasteurización), las proteínas del suero reaccionan con las caseínas provocando una disminución de las mismas en el suero (87,128). Hay una reducción de la

disponibilidad química de lisina como se muestra en la tabla # 7, porque hay formación de un complejo entre la kappa-caseína y la beta-lactoglobulina (128). En consecuencia se aminora el valor nutricional del concentrado (34).

Tabla # 6. Aminoácidos libres y péptidos solubles en los lactosueros dulce y ácido (91).

TIPO DE SUERO	AMINOACIDOS LIBRES g aa/Kg prot. total	PEPTIDOS SOLUBLES g aa/Kg prot. total	TOTAL PROTEINA g aa
Acido	40	229	269
Dulce	8	155	163

aa=aminoácidos

Tabla # 7. Proteína total y disponibilidad química de lisina en las proteínas del suero lácteo (34).

MUESTRA	PROTEINA * g/100 g muestra	DISPONIBILIDAD DE LISINA ** g/100 g de prot.
Patrón	90.40	8.99 ± 0.20
Pasteurización (leche)	84.86	8.75 ± 0.18
Ultrapasteurización (Leche)	69.96	8.18 ± 0.17

* Base húmeda

** \bar{x} - desviación estándar para muestras por duplicado de lisina disponible

La unión de la lactoglobulina con la caseína sucede cuando más del 50% de las proteínas del suero se han desnaturalizado. Esta interacción incluye formación de enlaces tiol-disulfuro, puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y

de calcio moderadas, Primero hay una desnaturalización de la globulina con posterior unión de la κ -caseína a través de puentes de calcio (49). Así mismo la proteína se desnaturaliza en un 56% y la proporción molar de los aminoácidos demuestra que en el calentamiento hay variación irregular de ellos (tabla # 8) (34).

Tabla # 8. Proporción molar de los aminoácidos en las proteínas del lactosuero, patrón, leche pasteurizada y leche ultrapasteurizada (34).

AMINOACIDOS	PATRON	L. PASTEURIZADA	L. ULTRAPASTURIZADA
ASP	3.13	3.03	3.62
THR	1.67	1.65	1.81
SER	1.70	1.73	2.03
GLU	4.49	4.62	4.98
PRO	1.66	1.75	2.06
GLY	1.03	1.04	1.01
ALA	1.99	1.99	1.48
CYS (1/2)	0.77	0.72	0.69
VAL	1.79	1.80	1.57
MET	0.62	0.39	0.35
ILE	1.66	1.87	2.00
LEU	3.45	3.61	3.29
TYR	0.78	0.75	0.73
PHE	0.91	0.84	0.99
LYS	2.58	2.72	3.04
HIS	0.53	0.55	0.72
ARG	0.66	0.69	0.62

El grado de desnaturalización afecta a las propiedades reológicas y sensoriales que pudiera tener el concentrado al utilizarlo en ciertos alimentos (72). Por otro lado, cuando la proteína se desnaturaliza en el momento de obtener el con-

concentrado el contenido de nitrógeno no proteico aumenta notablemente como se muestra en la tabla # 9 (66).

Tabla # 9. Efecto de diversos tratamientos térmicos sobre la desnaturalización de la proteína del lactosuero y el contenido de nitrógeno no proteico del suero de leche de vaca (66) *

* El número de muestras analizadas para cada caso fueron 10.

Nota.- El control es una muestra sin calentar.

TRATAMIENTO TERMICO	% DE DESNATURALIZACION DE LA PROTEINA DEL SUERO	% DE AUMENTO EN EL NITROGENO NO PROTEICO
Control	0	0
60°C	13.55 \pm 1.93	3.36 \pm 0.23
70°C	24.47 \pm 1.66	7.20 \pm 0.44
75°C	51.70 \pm 2.32	10.68 \pm 0.55
80°C	76.53 \pm 1.66	14.83 \pm 0.31
90°C	83.31 \pm 0.97	19.10 \pm 0.46
95°C	86.02 \pm 0.80	23.22 \pm 0.60

En otros experimentos se ha demostrado que la desnaturalización en el caso del suero es más dependiente del contenido de sólidos que de la temperatura, por esto hay que tener cuidado cuando el suero se desmineraliza. También la presencia de lactosa la favorece indirectamente (140).

Cuando la leche se almacena en frío antes de ser procesada por mucho tiempo, se ve alterada en sus propiedades fisicoquímicas presentando problemas en el rendimiento del queso y del suero (45).

El tratamiento que se le da a la materia prima dependerá de la composición requerida en el concentrado y de las características reológicas pretendidas en el producto final co-

no se muestra en la tabla # 10.

Tabla # 10. Datos analíticos de diferentes tipos de concentrado de proteína de lactosuero, de acuerdo al tratamiento recibido (38).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Nitrógeno total mg/g	52.57	53.64	40.11	45.50	48.37
Nitrógeno no proteico mg/g	5.74	6.16	1.10	3.97	1.82
Nitrógeno de proteína desnaturalizada + nitrógeno de caseína mg/g	1.40	8.94	4.59	11.83	14.07
Nitrógeno de proteína sin desnaturalizar mg/g	34.44	36.19	29.76	22.74	17.16
Nitrógeno de la fracción proteosa-peptona mg/g	9.82	5.88	3.65	6.28	10.66
Nitrógeno de glicomacropéptidos mg/g	3.34	0.33	1.25	1.14	3.37
Índice de NO desnaturalización **	0.96	0.80	0.86	0.65	0.55
% de solubilidad en agua	100.00	88.40	87.90	70.80	100.00
Sólidos totales para un contenido de proteína del 10%	33.50	33.30	40.20	37.70	33.70
Calcio mg/g	6.43	6.02	0.54	19.20	1.99
Fósforo mg/g	3.20	3.20	1.00	6.30	1.40
pH de una dispersión con 10% de proteína	6.03	6.04	5.25	5.13	7.38

** Nitrógeno de proteína no desnaturalizada

Nitrógeno de prot. no desnat. + N prot. desnat. + N de caseína

Los tratamientos seguidos para la fabricación de los concentrados 1,2,3,4 y 5 incluidos en la tabla # 10 son los siguientes:

(1) Suero calentado a 72°C por 15 seg y sometido a ultrafiltración.

(2) Suero calentado a 85°C por 15 seg y sometido a

ultrafiltración (se mejoró el flujo en la ultrafiltradora),

(3) Suero desmineralizado por intercambio iónico a 5°C, posterior tratamiento térmico a 72°C por 15 seg y sometido a ultrafiltración.

(4) Suero ácido calentado a 80°C por 15 seg con ajuste del pH a 5.6 para mejorar el flujo al momento de someterlo a la ultrafiltración.

(5) Suero ácido desmineralizado por intercambio iónico a 5°C con posterior tratamiento térmico a 72°C por 15 seg y sometido a ultrafiltración (38).

Con lo anterior se denotan las alteraciones y la necesidad de control de las propiedades físicoquímicas de los distintos tipos de suero como la influencia en las condiciones de operación; sobretodo cuando se trate de ultrafiltración u ósmosis inversa. (95).

(2) PRETRATAMIENTOS DE LA MATERIA PRIMA.

La tecnología común para la recuperación de las proteínas del lactosuero está limitada al hecho de que puede provocarse la desnaturalización de la proteína por efectos del calor haciéndola insoluble. Las porciones de proteína que no son desnaturalizadas hay que separarlas de la lactosa y de los minerales. Por lo expuesto, se hace necesario el pretratamiento de la materia prima (lactosuero líquido) (12).

El pretratamiento es definitivo para determinar el comportamiento operativo del producto, sobretodo si éste va a ser procesado a través de un sistema de membranas (144). El

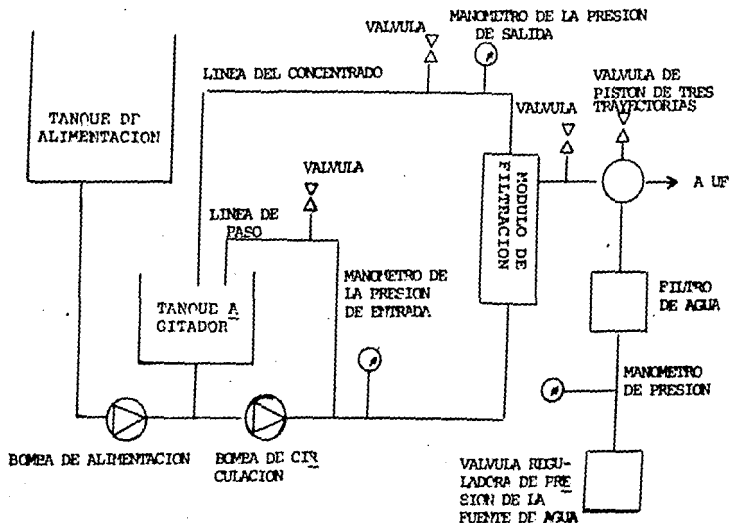
obtener un concentrado libre de lactosa es deseable porque esta última puede ser aprovechada para otros fines, evitándose los problemas que su presencia acarrea en el momento de la fabricación del concentrado (69). Con los pretratamientos se persigue la finalidad de obtener concentrados de proteína libres de lactosa, grasa, minerales, etc. además de evitar al máximo la desnaturalización. A continuación se describen algunos de ellos:

(a) Microfiltración.- A veces el concentrado de proteína queda contaminado con lípidos después de su fabricación, los cuales dañan propiedades como: la habilidad de batido y las capacidades espumante y gelificante (48). Los ácidos grasos insaturados que pudieran estar presentes son susceptibles a la oxidación y a la rancidez impartiendo al producto un sabor desagradable fácilmente reconocible, sobretodo durante el almacenamiento. Este problema se puede prevenir si hay una completa extracción de la grasa de la leche del lactosuero líquido.

El nivel de grasa del suero puede ser disminuido hasta un 0.05% pretratándolo con el método de microfiltración de flujo tangencial, el cual a la vez se aprovecha para eliminar bacterias y suprimir posteriormente el tratamiento térmico o pasteurización del suero y por lo tanto la desnaturalización de la proteína. La microfiltración también incrementa la velocidad del flujo en los sistemas de ultrafiltración y ósmosis inversa lográndose la no acumulación de glóbulos de grasa, ni de bacterias, ni restos de caseína en la capa pola-

rizada de las membranas de los sistemas mencionados, evitándose también la obstrucción y la disminución del flujo inicial (95) mejorándolo en un 30% (89). El aparato de microfiltración se muestra en la figura # 7.

Figura # 7. Esquema del aparato de microfiltración (89).



(b) Desmineralización.- El grado de desmineralización se define como el porcentaje del contenido mineral total extraído, medido como el porcentaje de cenizas (39). La desmineralización es un pretratamiento que se lleva a cabo antes del proceso de obtención del concentrado en el lactosuero líquido (a veces también se realiza en el filtrado obtenido co-

mo subproducto de los sistemas de membrana), Tiene como finalidad concentrar más la lactosa extrayendo de la solución (suero) las sales minerales solubles, entre las cuales se encuentra principalmente el Ca^{+2} . El Ca^{+2} presente en el suero puede ser sustituido hasta en un 100% por Na^{+1} utilizando como método de desmineralización las resinas de intercambio iónico (40).

La cromatografía de intercambio iónico se emplea principalmente para el suero dulce, El sistema recupera el 100% de las proteínas. Cuando después se someten a ultrafiltración u ósmosis inversa la pureza del nitrógeno proteico se obtiene hasta en un 90% como se muestra en la tabla # 11.

Tabla # 11. Análisis químico del concentrado de proteína obtenido por intercambio iónico (94).

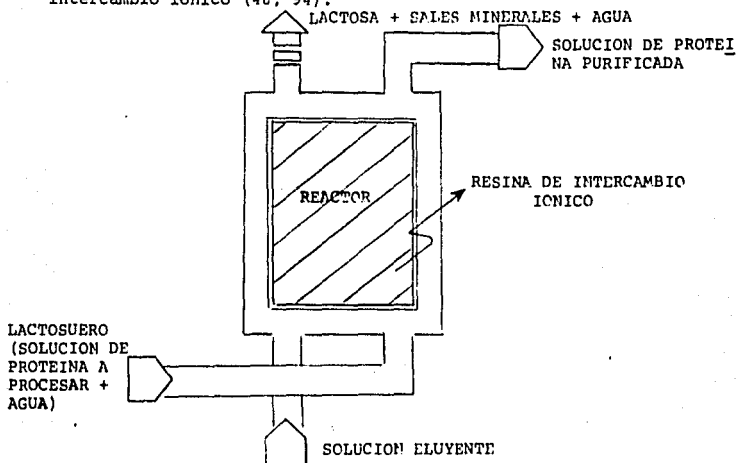
NITROGENO PROTEICO	90.80%
CENIZAS	2.20%
LACTOSA	0.50%
GRASA	0.50%
AGUA	6.00%
CALCIO	0.80%
POSFORO	0.60%
SODIO	0.04%
POTASIO	0.03%
MAGNESIO	0.03%

Los porcentajes se encuentran en base seca.

De manera general el proceso de desmineralización por in

tercambio iónico se puede ver en la figura # 8,

Figura # 8. Separación de la proteína por columnas de intercambio iónico (48, 94).



La proteína es separada de la alimentación cuando pasa por la columna de intercambio iónico porque es adsorbida (extracción por adsorción). El método se fundamenta en el hecho de que las moléculas cargadas eléctricamente (las proteínas son moléculas anfotéricas), tienen afinidad por un sustrato también cargado eléctricamente (columna de la cromatografía). La carga eléctrica neta de una proteína soluble depende del pH de la solución y está directamente relacionada con el número y la naturaleza de las cadenas polipeptídicas laterales ionizables en ella. Cada proteína con su secuencia de amino-

cidos varía de acuerdo a la alcalinidad o basicidad (pH) del medio. Dependiendo de la composición de aminoácidos de la proteína a un pH dado, se tiene una carga neta, positiva o negativa. Sabemos que las proteínas en su punto isoeléctrico no tienen carga eléctrica neta; sin embargo, a un pH menor que su punto isoeléctrico tienen una carga neta positiva y pueden fijarse a un intercambiador iónico catiónico, a diferencia de que a un pH mayor de su punto isoeléctrico la carga neta de la proteína es negativa y se fijan a un intercambiador aniónico (94).

A nivel industrial las proteínas deben tener acceso libre a un soporte superficial (sólido cargado como la celulosa con alúmina y la sílice) que ofrezca un alto grado de porosidad (a causa del peso molecular tan grande de las proteínas), una rigidez mecánica y alta estabilidad en la presencia de reactivos químicos y biológicos. Un soporte así, adsorbe selectivamente grandes cantidades de proteína que se obtienen finalmente sin desnaturalizar y que no sólo sirven para fines alimenticios sino terapéuticos y farmacéuticos (94).

El suero dulce a un pH de 6.0 a 6.3 pasa por dos columnas; en la primera columna son adsorbidas todas las proteínas que se encuentran en la forma aniónica (90 al 93% del total de las proteínas) y en la segunda columna las que se encuentran en la forma catiónica que son la minoría y sólo incluyen a las inmunoglobulinas (del 7 al 10%). En el caso del suero ácido (pH=4.6), las proteínas serán separadas al quedar adsorbidas en un intercambiador catiónico.

La separación de la proteína en la columna sucede en los cuatro pasos siguientes:

(1) Adsorción.- La alimentación (suero) pasa a través de la columna donde las proteínas son adsorbidas al enlazarse a los grupos del intercambiador iónico o el suero con pH adecuado sea dulce o ácido se mezcla con la resina o sólido cargado en un tanque reactor con agitación.

(2) Lavado.- La solución desproteinizada permanece en la columna y se lava con dos volúmenes de agua desmineralizada.

(3) Elución.- El eluyente (HCl a pH=3 para columnas aniónicas y NH_4OH a pH=9 para columnas catiónicas) extrae las proteínas atrapadas y sana la columna para volverla a utilizar (separación o desorción de la proteína de la columna o resina).

(4) Lavado.- Después de la elución, la columna se lava de nuevo con dos volúmenes de agua para quitar la solución remanente.

La clave para que funcionen las columnas de intercambio iónico está en controlar y escoger el pH adecuado. Los cambios en el pH se hacen generalmente con NaOH hasta lograr aquel inferior o superior al pH isoeléctrico de la proteína (48). Este método es una realidad a nivel industrial (114).

Las proteínas eluidas se obtienen en solución en una concentración del 4.5% para después ser sometidas a ultrafiltración, ósmosis inversa o evaporación y por último secado por aspersión y así obtener un concentrado de proteína soluble no

desnaturalizado, contrazas de lactosa y de grasa y muy poco contenido de cenizas (48) ya que estos componentes no son adsorbidos (86).

Si el suero se desmineraliza se pueden utilizar volúmenes mayores del mismo para industrializarlo y se pueden producir proteínas de mucho mejor calidad (93) con un porcentaje en contenido de proteína hasta del 97% y con elevada funcionalidad (144). Este sistema tiene la ventaja que sirve no sólo para procesar proteína de suero, sino de soya, nabos, alfalfa, almidones de papa, leche descremada (94) y remover contaminantes orgánicos del agua para poder utilizarla de nuevo (48).

Las ventajas de este pretratamiento son las siguientes: el gran consumo de reactivos químicos, su fácil contaminación y el desperdicio de agua. También se necesita controlar el pH del suero y mantenerlo lo más cercano posible al neutro para evitar pérdidas y tener un mínimo de desnaturalización (93); sin embargo, no gasta energía como los otros procedimientos (144).

La electrodiálisis es otro sistema que sirve para desmineralizar suero (136). Extrae preferentemente los iones Na^+ y Cl^- y el ácido láctico (90). Se caracteriza por su alto costo y también por su alto rendimiento. Las membranas que utiliza se gastan rápidamente y el agua de desperdicio sale con una demanda de oxígeno biológico elevada debido a que la lactosa traspasa las membranas (93). Con este proceso se logra un 70% de desmineralización. Cuando se necesita lograr un 90%

se puede hacer una combinación de electrodiálisis e intercambio iónico (86); la electrodiálisis para extraer los primeros residuos y el intercambio iónico para extraer los últimos (39). El intercambio iónico no es tan selectivo como la electrodiálisis ya que extrae iones mono y polivalentes; en cambio la separación en la electrodiálisis es más dependiente de la movilidad iónica, siendo así los iones monovalentes los que se extraen. El intercambio iónico conviene más para sistemas pequeños y cuando se requieren altos niveles de desmineralización y la electrodiálisis se prefiere en plantas donde su uso es grande y se requiere de bajos niveles de desmineralización (144).

(c) Tratamiento térmico.- Otro pretratamiento del suero puede ser el tratamiento térmico que consiste en una pasteurización del tipo "temperatura elevada-corto tiempo" (13). Para el suero dulce a 72°C por 15 seg y para el ácido a 80°C por 15 seg a pH de 5.9. Con este calentamiento se logra la precipitación de los fosfatos de calcio que son sales insolubles (13). El concentrado obtenido en este pretratamiento es insoluble y se vende como lactoalbúmina (61).

(d) Hidrólisis Enzimática.- La hidrólisis enzimática del suero antes de concentrarlo es otro pretratamiento que evita los problemas con la lactosa remanente en el concentrado. La hidrólisis se logra con beta-galactosidasa utilizando el sistema de enzimas inmovilizadas o libres. Se degrada lactosa impidiéndose así su cristalización (61) porque se convierte en glucosa y galactosa. El concentrado hidrolizado po-

sé un cierto poder edulcorante y sirve para ser consumido por personas con intolerancia a la lactosa (3) teniendo también por otro lado propiedades funcionales únicas (3).

Con este procedimiento se reduce el contenido de lactosa y se aumenta la solubilidad de los carbohidratos presentes, facilitando y propiciando las posibilidades de fermentación (58).

(e) Clarificación y filtración.- Se logran mediante una prefiltración y una centrifugación utilizando papel filtro de poro diferente, simulando una progresión y separación de partículas de diferente peso molecular para después centrifugar el precipitado obtenido. Este pretratamiento sirve para eliminar los glóbulos de grasa y bacterias de un 90 a 99% (141).

Es conveniente encontrar métodos y procesos que a escala comercial sean los adecuados para preparar concentrado de proteína a veces sin desnaturalizar y otras desnaturalizado, dependiendo de las características requeridas (111). El proceso esquematizado de la operación generalizada para la recuperación de proteína se puede observar en la figura § 9 (86). En la tabla § 12 se demuestra que hay varias maneras de obtener diferentes concentrados con distinta composición de acuerdo al proceso seleccionado (70). Las propiedades que han sido explotadas comercialmente para encontrar los métodos de obtención del concentrado se basan en la diferencia de tamaños moleculares, insolubilidad de la proteína a altas temperaturas,

cargas eléctricas características, agregación por agentes precipitantes y cristalización de la lactosa (86),

Figura # 9. Proceso esquematizado de la operación generalizada para la recuperación de proteína de lactosuero (86).

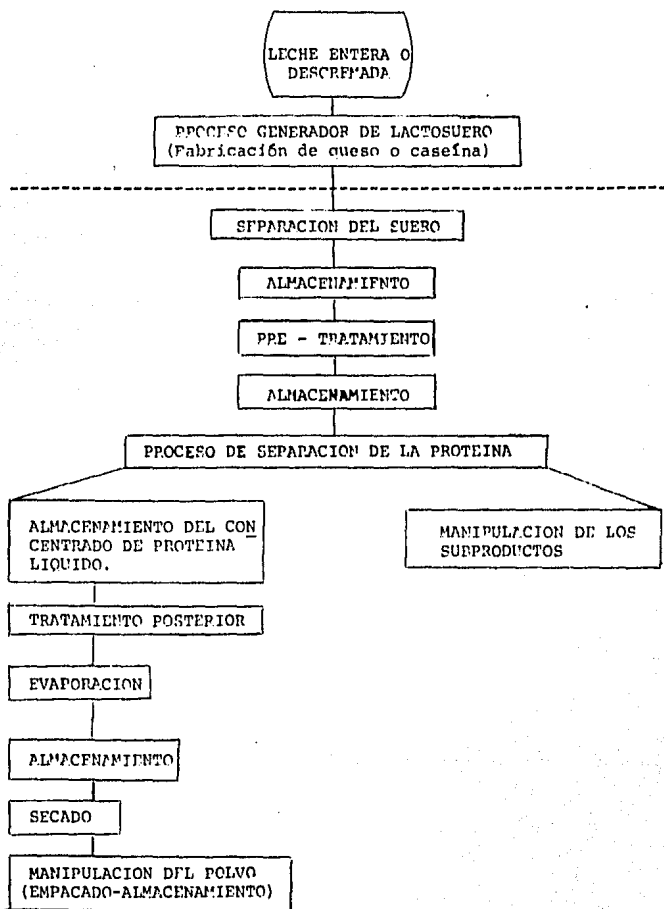


Tabla # 12. Composición de concentrados de proteína preparados por procesos diferentes (70).

PROCESO	% PROTEINA	% LACTOSA	% MINERALFS	% GRASA
Electrodialisis	20-35	46-60	3-18	2-4
Precipitación con metafosfato	55-60	18-22	10-18	6-9
Filtración en gel (FG)	54	25	14	2
Ultrafiltración	30-70	20-55	3-5	4-5
Intercambio iónico (II)	15	7-8	1	1
Ultrafiltración + FG	81	12	2	3
Ultrafiltración + II	76	16	1	3

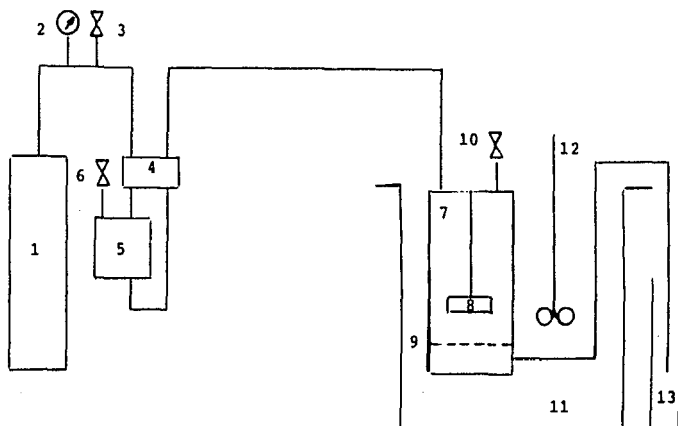
Los porcentajes se encuentran en base húmeda

(3) ULTRAFILTRACION.

La ultrafiltración (UF) es un proceso de filtración que se utiliza en la industria láctea (figura # 10) (20), en el cual la proteína en suspensión o solución como es el suero dulce o ácido, pasa bajo presión a través de una membrana delgada semipermeable (15). Traspasan la membrana hacia fuera de la superficie: agua, lactosa, sales solubles, ácido láctico y compuestos nitrogenados no proteicos (sustancias con peso molecular inferior a 500, son dializables y permanecen en solución en las condiciones en las que se produce la precipitación de la proteína, su estructura química es muy variada y entre ellas se encuentran la urea, creatina y los nucleótidos (8)),

dejando en el conglomerado retenido; proteínas y sales insolubles en suspensión (91). La UF por lo tanto, concentra selectivamente proteínas y sales insolubles, reduciendo la demanda de oxígeno biológico del lactosuero.

Figura # 10. Proceso esquemático del proceso de ultrafiltración (8R).



- (1) Cilindro con gas (N_2)
- (2) Medidor de presión
- (3) Válvula reguladora del paso de N_2
- (4) Válvula de tres trayectorias
- (5) Tanque de almacenamiento
- (6) Válvula de seguridad (liberadora de presión)
- (7) Celda de Ultrafiltración
- (8) Agitador
- (9) Membrana
- (10) Válvula de seguridad
- (11) Baño de agua
- (12) Calentamiento/agitación
- (13) Colector

(a) Las membranas. La parte principal de los sistemas de UF es un cartucho de membranas formado de platos planos de material membranoso. Para poder mantener limpio y sanitario el sistema y hacerlo de fácil limpieza, el cartucho puede ser reemplazado y cambiarse cuando se necesite (112).

Las membranas utilizadas son de diversos materiales como: acetato de celulosa, poliolefinas, polisulfona, poliácronitrilo, óxido de zirconio, cloruro de polivinilo o fibra de vidrio (13). La utilización de ciertas membranas está limitada a la temperatura y el pH del medio de procesamiento; unas resisten más que otras y por otro lado se sabe que si son desechables (acetato de celulosa), se evita la presencia de acero inoxidable en el resto del diseño (144). Su duración es de 8 a 12 meses siendo el principal requisito que permitan el paso de lactosa y sales solubles (91). Los diseños de las membranas incluyen sistemas tubulares, de platos, con disposición en espiral y a base de fibras o láminas de metal planas (86).

Para mantener las membranas en buen estado, es necesario conservarlas en agua desmineralizada cuando no se utilizan. Si durante la fabricación del producto hay un cierto goteo, hay que reponer la membrana y verificar que el filtrado no presente turbidez (91). Como análisis de control de calidad del proceso, se puede someter el filtrado obtenido de la UF a una cromatografía de enfoque. El filtrado se desmineraliza con una cromatografía en gel, se concentra, se dializa y luego se somete a la cromatografía de enfoque; si en el análisis aparece alguna de las proteínas, es indicio de que la membra-

na tiene fugas, si no, el proceso está funcionando adecuadamente (102).

(b) Factores que afectan al flujo en la UF.- La velocidad de flujo en la UF, dependerá del tipo y superficie de la membrana, la temperatura, la presión y el grado deseado de concentración de la proteína. Conforme se va concentrando la proteína cerca de la membrana se hace más necesario el control del flujo para evitar la obstrucción de la misma. Esto se puede evitar bombeando el fluido sobre la superficie de la membrana a altas velocidades, de tal forma que se mantenga la turbulencia y así dejar relativamente libre la membrana (13). Hay que tomar en cuenta que la capa de gel que se forma en la membrana aumenta mientras la velocidad de alimentación está en equilibrio con aquella a la cual el suero llega a la superficie de la membrana. Debido a esto, es conveniente un diseño de UF donde las condiciones permitan mayores y diferentes velocidades que superen el esfuerzo cortante de la interfase del gel formado y la membrana, lo cual a su vez favorecerá la alimentación del flujo (95).

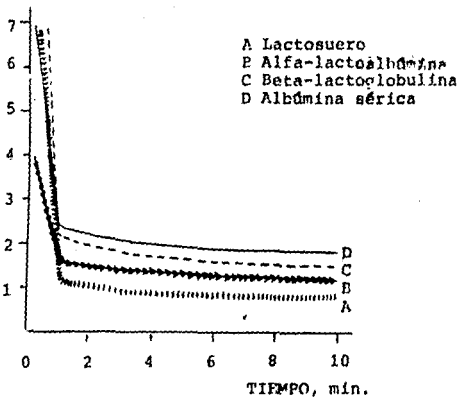
La velocidad de flujo aumenta a pH's menores de 3.0 y disminuye a pH's entre 4.0 y 5.0. Si el pH se incrementa posteriormente ya transcurrido algo de tiempo del proceso, la velocidad mejora con los sueros dulces pero no con los ácidos, ya que los depósitos que se forman en la superficie de la membrana son de naturaleza diferente (Ca, P y ácido láctico para el suero ácido y lípidos para el suero dulce) (95).

Las proteínas y otras macromoléculas presentes en el sue-

ro, tienen mayor influencia en la velocidad de flujo como se indica en las gráficas # 1, # 2 y # 3, que los solutos de moléculas pequeñas (88).

Gráfica # 1, Declinación de la velocidad de flujo en función del tiempo con suero de leche y las proteínas del lactosuero individuales dializadas (88).

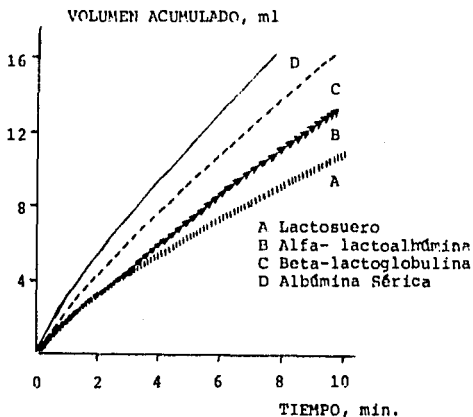
FLUJO INSTANTANEO ml/min.



Muchas proteínas forman capas en las membranas mediante un proceso complejo provocando la obstrucción cuando éstas; junto con los microorganismos entrelazados, se asientan en los intersticios de la membrana (95). Tomando en cuenta las proteínas por separado, la lactoalbúmina es la de mayor tendencia a formar geles; tal vez esto se deba a que es la proteína del suero con menor peso molecular y se ajusta al tamaño y a la forma del poro de la membrana bloqueándolo; en cam-

bio la lactoglobulina normalmente existe como octámero y su molécula esférica simplemente rueda en la superficie de la membrana.

Gráfica # 2. Permeabilidad del lactosuero y de las proteínas individuales en un sistema de suero dializado en los 10 minutos iniciales de la ultrafiltración (88).

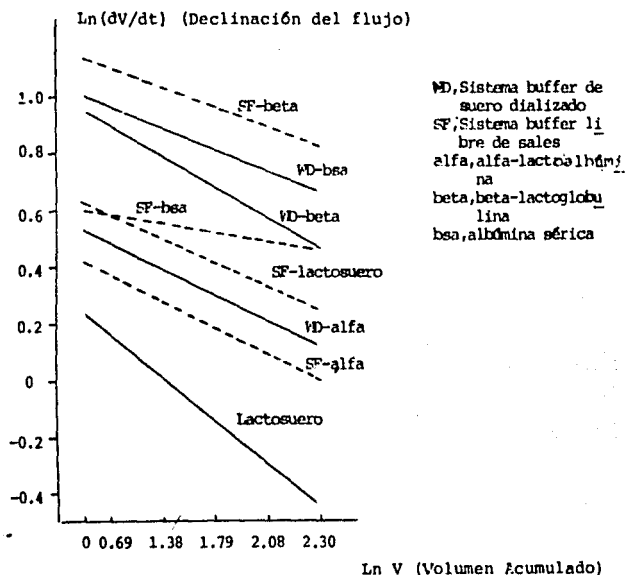


Si la molécula de lactoglobulina pierde su forma esférica por cambios en el pH, entonces si contribuirá a la obstrucción (88).

Si el contenido de calcio en el suero es elevado y el pH de 6.0, la velocidad de flujo también disminuye porque la obstrucción aumenta, más aún si para ajustar el pH se utiliza alguna sustancia que favorezca la precipitación del fosfato de calcio en su forma gelatinosa, porque se forma una capa de gel en la membrana (95). En el caso del suero ácido el fósfo-

ro puede unirse a la membrana, provocando así la disminución del flujo, ya que sirve como foco de interacción entre otras especies. Todo depende de los constituyentes en el medio tratado y del tipo de membrana utilizada (95).

Gráfica 3. Relación de la velocidad de flujo en función del volumen acumulado (88)



(c) Condiciones del proceso de UF.- Generalmente, el suero hay que filtrarlo o clarificarlo (temperatura de 25 a 30°C) o pasteurizarlo antes de ultrafiltrarlo para quitar el queso que queda suspendido, las partículas de caseína y

la grasa (86). Luego se enfría para después alimentarlo por bombeo o por empuje con un gas inerte a una presión de 1 a 3 atmósferas a la celda de UF. Así el suero logra pasar a través de las membranas con poro de 30 milimicra. La circulación es continua hasta que el nivel de proteína deseado se alcanza hasta que los componentes solubles ya no pasan más a través de la membrana. El agua, la lactosa y los compuestos nitrogenados no proteicos aparecen como un suero verdoso, claro y cristalino. La temperatura en todo el proceso debe ser baja para evitar la desnaturalización. Al finalizar la ultrafiltración, el líquido remanente o concentrado posee hasta un 25% de proteína y una densidad de 0.35 a 0.5 g/cm³; puede enfriarse y pasteurizarse antes de ser secado (86). Para esto se utiliza un secador de aspersion de alta capacidad que da por resultado un polvo no higroscópico (41, 138).

A continuación se presenta un caso ilustrativo de la UF:

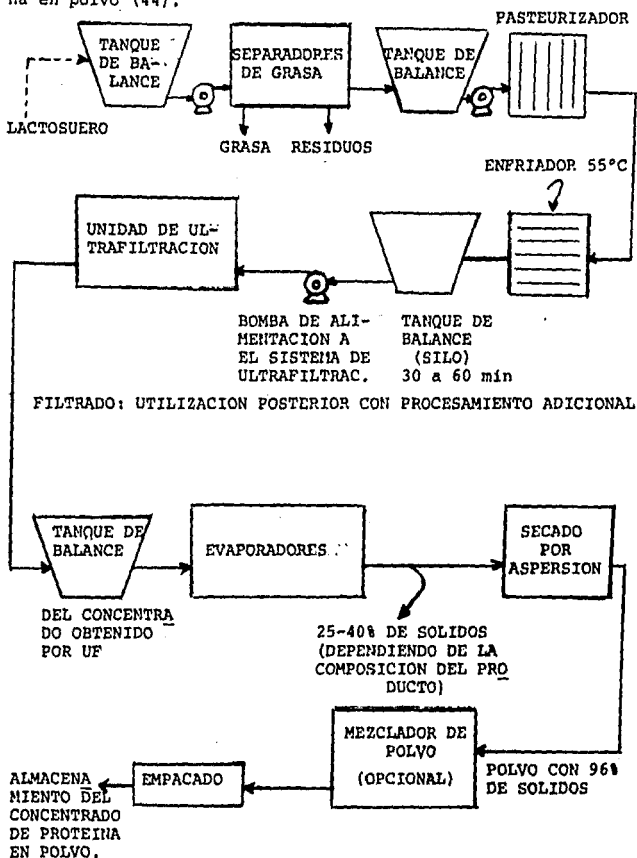
El lactosuero se procesa hasta obtener concentrado desde un 35 hasta un 70% de proteína. La figura # 11 muestra el proceso típico. El suero obtenido después de la fabricación del queso se transporta a un tanque de balance pequeño, se bombea de ahí a los separadores de grasa y de partículas de queso residuales. Después de ser transferido a otro tanque de balance el suero se pasteuriza para tener un control microbiológico, se pasa a un enfriador hasta que alcanza la temperatura de 55°C y se transfiere a otro tanque de balance para que repose durante 30-60 minutos antes de pasar a la unidad de UF. Todo esto sirve para balancear el flujo y preacondicionar al

suero para maximizar la capacidad de la planta de UF. Este preacondicionamiento es complicado y consiste tanto en modificar la forma de los complejos de calcio como en la adquisición de aire por el material. La alimentación y la capacidad de concentración se obtienen así en una forma constante y regular. El concentrado obtenido y enriquecido con proteína se puede evaporar y secar directamente. Si el flujo no es regular hay que repetir el reposo y el calentamiento antes de volverlo a ultrafiltrar. El evaporador es de efecto múltiple y se ajusta al porcentaje de sólidos requeridos, para después pasar al secador por aspersión. Si el porcentaje de sólidos requeridos es alto, se necesita un mezclado para asegurar su uniformidad. Por último el producto es empacado (44).

La unidad de UF puede ser en serie de varias etapas como se muestra en la figura # 12. Este tipo de unidad para procesar el flujo, es empleado por la mayoría de los proveedores de equipo. El suero es bombeado y recirculado en serie a través de ultrafiltradores en etapas. Cada etapa contiene módulos de membrana que poseen el área deseada y seleccionada por el industrial. El filtrado es extraído de cada etapa y tanto la proteína como la grasa del suero son concentradas progresivamente mientras el suero fluye de etapa en etapa. Si el producto contiene alto porcentaje de proteína es necesaria la diafiltración (44). Con un diseño apropiado de este sistema los parámetros operativos (velocidad de circulación del flujo a través de las membranas, la presión y la temperatura) se pueden variar independientemente de la proporción de concen-

traci6n a trav6s del sistema, haciendo m6s flexible al proceso.

Figura # 11. Proceso para producir concentrado de proteina en polvo (44).



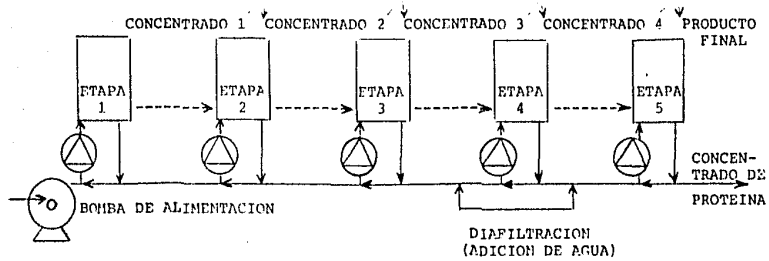
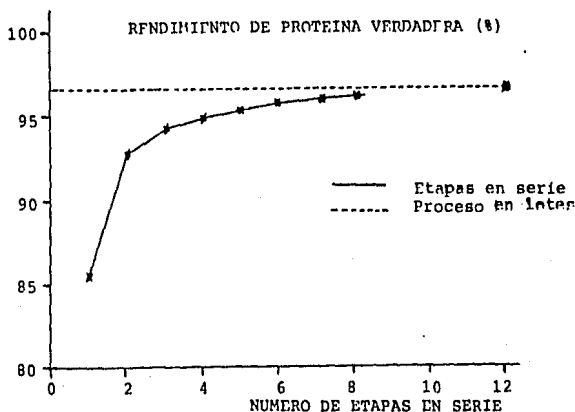


Figura 12. Diagrama de flujo esquematisando el proceso generalizado de ultrafiltración en serie de cinco etapas (14).

Con la UF en serie se simplifica la posible expansión de la planta, ya que sólo se tiene que aumentar el número de etapas del sistema. Si la cantidad de suero a procesar varía con la época del año se utilizan sólo el número de etapas necesarias (44). En la gráfica # 4 se puede apreciar el rendimiento de proteína (porcentaje recuperado de proteína en el concentrado) obtenido de un proceso realizado en lote y en etapas. Muchas veces es más importante que las membranas funcionen bien a el número de etapas utilizadas.

Gráfica # 4. Rendimiento de la proteína verdadera en función del número de etapas del proceso (44).



Los concentrados obtenidos por UF son tan variados, que dependiendo del pretratamiento del lactosuero su concentración puede ir desde un 35 hasta un 95% de proteína (120),

El sistema de UF sirve para otros materiales y hacer formulaciones diferentes.

(d) La diafiltración.- Sirve para extraer los minerales y la lactosa sobrantes en el concentrado proteico durante la UF. Consiste en refinar el sistema mediante una inyección de agua en la última etapa de la UF cuando la viscosidad del flujo alcanza niveles críticos provocando de manera efectiva una disminución de los minerales y de la lactosa que permanecen en el concentrado (113). Propicia el aumento en el contenido de grasa y de microorganismos, pero se puede evitar pretratando el suero con clarificación (141). Los niveles de nitrógeno no proteico, lactosa y cenizas se reducen porque se diluyen y se filtran más fácilmente; aumentando la pureza de la proteína y manteniendo esencialmente su concentración constante (44). Por otro lado la diafiltración preconcentra el suero que va a pasar a través de las membranas, ya que duplica los kg de sólidos que se van a obtener en el producto terminado. Disminuye costos y sustituye a la evaporación comúnmente empleada (141).

(e) Subproductos obtenidos de la UF.- El filtrado obtenido después de la UF (composición en la tabla # 13) contiene de un 80 a un 85% de los sólidos originales del lactosuero como lo son: la lactosa, aminoácidos, nitrógeno no proteico, vitaminas y minerales; por lo que su valor nutritivo continúa siendo elevado (39). Se le puede convertir en bloques sólidos y delgados, los cuales sirven para alimentar al ganado, concentrándolo a un 30% de sólidos (base seca). Se le

neutraliza a pH de 6.0-6.2 con amoníaco anhidro, se le somete a evaporación hasta lograr un 70% de sólidos y se bombea a moldes donde ocurre la cristalización de la lactosa, sacando así, la humedad remanente permitiendo que el bloque solidifique (63).

Tabla # 13. Composición del filtrado obtenido por UF y que se puede desmineralizar (para obtener lactosa) (39).

	% P / V
Sólidos totales	5.400
Nitrógeno no proteico	0.027
Lactosa	4.770
Cenizas	0.440
Calcio	0.036
Cloro	0.107
Potasio	0.141
Fósforo	0.097
Sodio	0.036

pH=6.6

El filtrado desproteinizado se concentra en un evaporador al vacío y se clarifica por centrifugación, después se desmineraliza, se seca al vacío a 45°C a una presión de 700 mm de Hg durante 8 horas y se obtiene lactosa de excelente calidad (87).

(4) OSMOSIS INVERSA.

Es un proceso similar al de UF, donde el lactosuero se bombea a través de membranas a altas presiones, permitiendo que el agua las traspase. Los minerales, la lactosa y demás

componentes del suero son retenidos (45). En este tipo de sistema el contenido proteico varía inversamente proporcional al volumen de la materia prima, la OI se encarga principalmente de concentrar sólidos totales reduciendo la demanda de oxígeno biológico del filtrado hasta un 99%. Las membranas que utiliza son similares a las de la UP teniendo poros de tamaño más pequeño (91). Los concentrados obtenidos por OI tienen menos proteína que los obtenidos por UP (61). Gasta más energía y cuesta más que la UP (144). Puede ser de un solo paso o con recirculación, como se muestra en la figura # 13. Sin embargo, el proceso se puede mejorar aplicando una fuerza externa en forma de presión centrífuga circulante por medio de una bomba, convirtiéndolo en un proceso de etapas múltiples con flujo recirculante (ver figura # 14) (105).

En este sistema mientras el suero se concentra hay un aumento de la presión osmótica en la superficie de la membrana. La situación puede agravarse al incrementarse la polarización, provocando una disminución en la fuerza de acarreo del suero. El proceso rinde solamente en un 30% de concentración de sólidos solubles (95).

La velocidad de flujo, la turbulencia y la temperatura, son los factores que determinan la eficiencia de la OI. La obstrucción de las membranas se acentúa cuando la velocidad de flujo inicial es alta y la temperatura de 30°C, en cambio si la temperatura es de 10°C el proceso mejora notablemente (95).

La tecnología de la OI sirve para tratar leche descremada y entera (45).

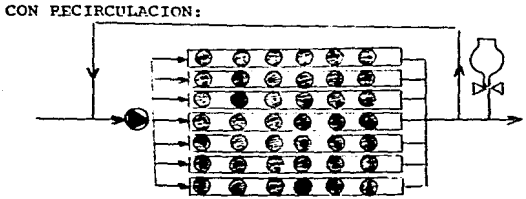
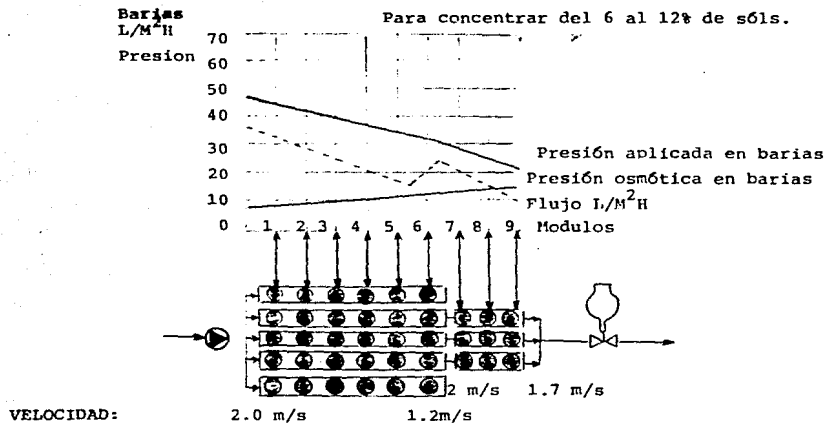
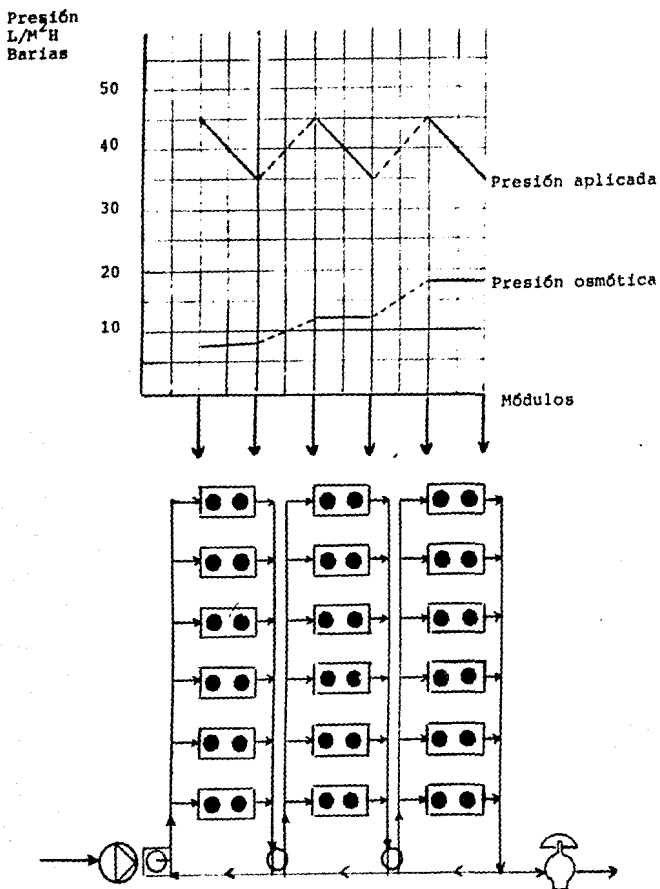


Figura # 13. Esquema del proceso de ósmosis inversa realizada en un solo paso (105).

Figura # 14. Esquema del proceso de ósmosis inversa realizada en multietapas con flujo recirculante (105).



(a) Condiciones del proceso de la OI.- En la OI la velocidad de flujo no debe ser menor de 1,6 m/s para el sistema multietapas y de 1,2 m/s para el sistema de un solo paso, para evitar la deposición de partículas en la membrana. El suero se alimenta a una presión de 40-45 bars (1 bar=100 Kpa) en trayectorias de flujo paralelo para alcanzar una velocidad de 2 m/s sobre las membranas. Cada trayectoria de flujo consiste de seis módulos en serie, a la salida de la primera etapa el flujo disminuye a 1.2 m/s. Posteriormente una reducción de las trayectorias de flujo a tres módulos, restaura la velocidad a 2 m/s y a la salida la velocidad sólo ha disminuido a 1.7 m/s. La primera etapa provoca una caída en la presión de la alimentación, al contrario de la presión osmótica del concentrado que aumenta en la salida; la presión de conducción disminuye. La caída de presión de conducción y de la velocidad, provocan una disminución en el flujo como se muestra en las figuras 13 y 14 (105). La elevación de velocidad en la segunda etapa hace que el flujo aumente; sin embargo, a la salida la presión y el flujo se reducen al mínimo.

Si a este sistema se le implementa con recirculación se evita la baja de presiones pero no de velocidades. Se recircula algo de concentrado a la entrada de la bomba de alimentación principal. Una bomba centrífuga capaz de bombear la presión en forma de paquetes permite mantenerla más pareja y constante como sucede en el sistema multi-etapas constituido por tres etapas, cada una, con líneas paralelas y dos módulos en serie. El que la longitud de la trayectoria sea más corta en

este sistema ayuda a que la velocidad de flujo sea mayor (105). Con el sistema multietapas se obtienen las siguientes ventajas: mayor promedio de velocidades de flujo debido al mayor número de módulos operando a los valores de presión y velocidad óptimos; se concentra más la proteína; existe mayor flexibilidad de operación; mayor estandarización de los componentes del producto y sirve para procesar otro tipo de materiales (105).

(b) Productos obtenidos por OI.- De manera general, cuando el lactosuero se concentra por OI se obtiene un concentrado de proteína con un contenido de sólidos totales que varía del 25 al 30%. Si este concentrado se calienta a 54°C después de haber pasado por las membranas y enseguida se evapora al vacío aumenta la concentración de sólidos del 45 al 65%, librando al concentrado de la lactosa (91). Si se le seca por aspersion en dos etapas, el contenido de sólidos puede ser hasta de un 98% (18).

Hay una pequeña diferencia entre los productos obtenidos por OI realizada en un paso o con recirculación con los obtenidos por el proceso multietapas. El contenido de sólidos para el de un paso o por recirculación es del 6 al 12% y con el sistema multietapas del 30% (105).

Los pretratamientos recomendados para la OI son: la desmineralización, el ajuste de pH y la adición de agentes quelantes de calcio (95).

(5) LIMITACIONES DE LA OSMOSIS INVERSA Y DE LA ULTRAFILTRACION.

La mayor limitación que tienen ambos procesos es la obstrucción de las membranas. En estas operaciones se ha postulado que hay formación de complejos de minerales con proteínas, proteínas-proteínas, proteínas-lípidos y otras especies iónicas como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ que se acumulan y que son los contribuyentes mayores de la misma. Esto queda solucionado si el lactosuero líquido se desmineraliza, se calienta con adición de sodio (para reemplazar al calcio), se preconcentra, se le ajusta el pH, se clarifica, se centrifuga o se filtra, en un inicio como pretratamiento (40). También se puede maximizar el esfuerzo cortante en la superficie de la membrana (86). El efecto combinado de la polarización y obstrucción de la membrana es el que gobierna la eficiencia de ambos procesos. Los factores que afectan dicho efecto combinado son: el estado físico y químico de los componentes del suero, el medio (concentración de cada componente) y el pH (95). A pH's altos la adsorción de las sales en la membrana aumenta, lo cual también va relacionado con la solubilidad de las sales porque ésta acrecenta los efectos de carga de las mismas. Por ejemplo: los pH's elevados disminuyen la solubilidad de los fosfatos y hacen que se precipiten provocando que se depositen en la membrana (88).

Otra limitación de los procesos de membrana es la presencia de residuos de grasa en el producto final y también se impide al pretratar el suero (48).

(6) PRECIPITACION.

(a) Precipitación por calentamiento (coagulación).- La proteína del suero se precipita (se insolubiliza en el agua) al calentarlo a un pH ácido o casi neutro. El suero se calienta de 90 a 95°C durante 10 a 15 minutos. El pH del suero dulce se ajusta de 4,5 a 4,6 para no tener problemas con los minerales antes de ser calentado y poder extraer la proteína. El procedimiento se muestra en la figura 15. El pH se ajusta acidificando 1/5 de la cantidad total de suero mientras éste pasa (opcional) por una resina de II. Los otros 4/5 del total del suero se calientan entre 60 y 70°C. Después de añadir suficiente suero acidificado para obtener el pH de 4,5, la mezcla completa se calienta a 90°C por 10 minutos (109). El precipitado formado es firme y se le puede separar inmediatamente o se le puede dejar reposando por 20 minutos para después separar el coágulo por cualquiera de los siguientes métodos:

* 2.3 l, se centrifugan a 3500 rpm,

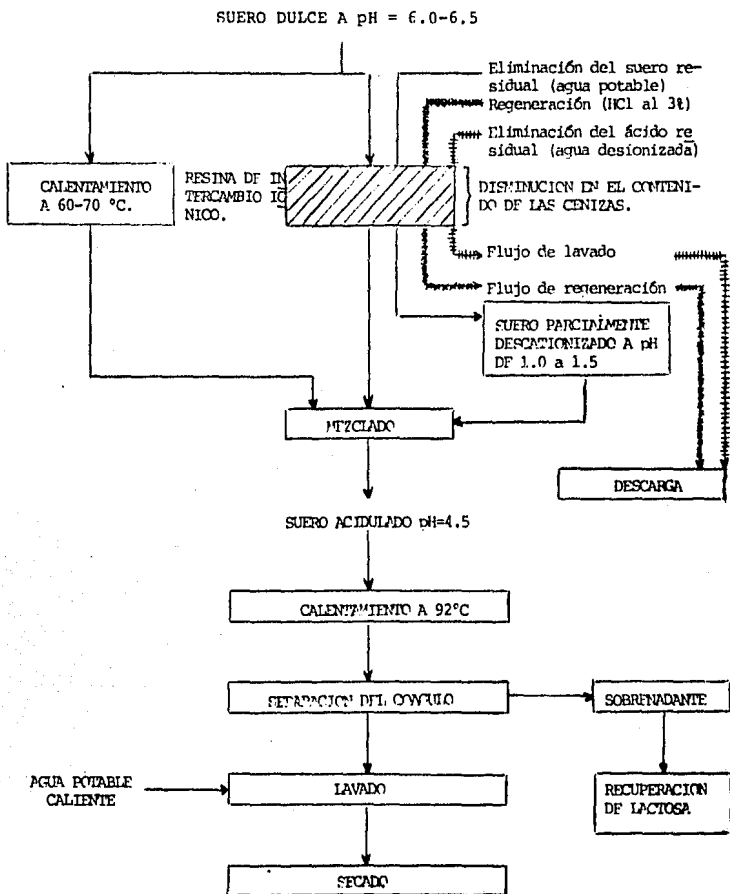
* 50 l, se filtran a través de una presa a 4 atm utilizando hojas de papel filtro y

* 300 l, descartando el sobrenadante y permitiendo que el coágulo drene en sacos colgados toda la noche.

Después de cualquiera de los tres casos anteriores, el precipitado se seca en horno de aire entre 40 y 50°C. La separación del coágulo debe hacerse lo más rápido posible para eliminar la lactosa y evitar las reacciones de Maillard durante el secado, las cuales suceden fácilmente con el 2o. proce-

dimiento debido a la presión aplicada (109).

Figura # 15. Proceso de coagulación por calentamiento para obtener concentrado de proteína de suero de queso cheddar (109).



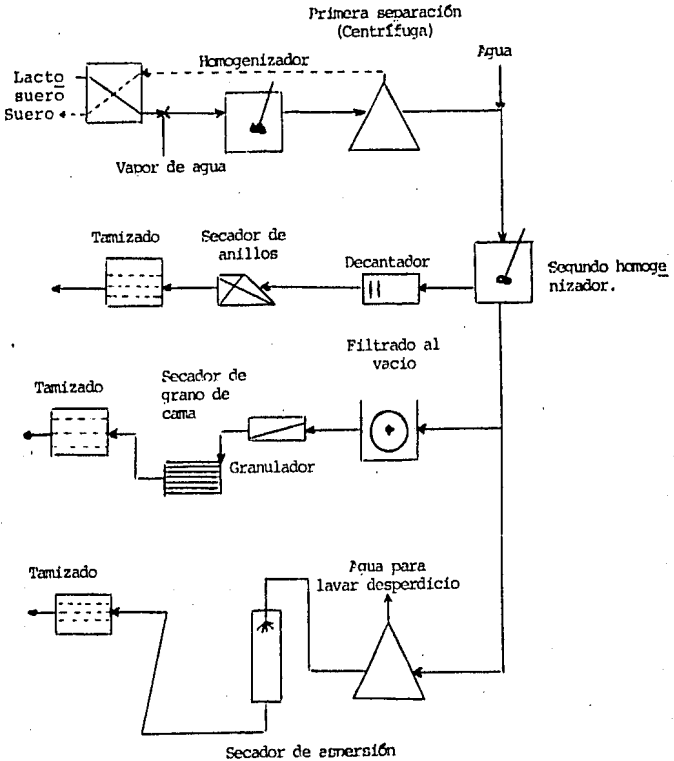
Para el suero ácido no se hace necesario el ajuste de pH. Este método se fundamenta en el hecho de que cerca del pH 4.6 (pH isoeléctrico), la proteína es más sensible al calor, provocando así su desnaturalización por coagulación con posterior precipitación (140).

Para obtener el conocido concentrado de lactoalbúmina (concentrado de proteína desnaturalizada por calentamiento) (60) por precipitación, el suero se calienta y se deja reposando (ya sea por un proceso en lotes o continuo). La proteína se precipita y se separa por decantación estática o acelerada. A continuación se lava, se separa y se seca como se puede ver en la figura # 16 (86). El equipo es diferente: centrifugas de velocidades elevadas (clarificadores y decantadores), empleadas para las separaciones anterior y posterior al lavado del precipitado y los secadores de anillos, de cama, de rodillos y de aspersion los cuales son las opciones para tener el producto terminado en forma de polvo. El producto se puede mejorar si antes del calentamiento el suero se desmineraliza, se preconcentra con UF u OI o se calienta a una temperatura de 120°C por 8 mins. a pH de 6.0 (86). La lactoalbúmina obtenida es insoluble y posee la gran capacidad de retener agua (60).

(b) Precipitación con polifosfatos (agentes complejantes o quelantes).- A pH's bajos, los polifosfatos de cadena larga (polimetafosfato de potasio y hexametafosfato de sodio), precipitan la proteína del lactosuero. El precipitado se extrae por centrifugación, se lava y se somete a una alte-

ración de pH que con adición de calcio provoca la separación de los fosfatos.

Figura # 16. Proceso esquemático para la producción de concentrado de lactoalbúmina, mostrando alternativas para el secado y el desaguado (86),



Para disminuir la cantidad de agente precipitante requerido, se extraen los cationes, principalmente el Ca^{+2} , antes

de añadir el precipitante y poder recuperar la proteína en un 88-99% y un 63 a 71% del nitrógeno no proteico (86). El polifosfato se utiliza de 0.5 a 3.0% a un pH de 2.3 a 2.8 a 25°C.

(c) Precipitación con agentes químicos.- Se utiliza bentonita y lignosulfato lográndose la precipitación de la proteína cruda, algo de nitrógeno no proteico y la lactosa a temperatura ambiente y en un solo paso.

Para el caso del lignosulfato, la reacción depende del pH (3 a 4.6), obteniéndose de 87 a 90% de proteína. A pH de 9.0 sólo se obtiene alrededor de un 20% de proteína. Tiene la ventaja sobre los polifosfatos que actúa al pH natural del lactosuero por lo que no hay que modificarlo (24).

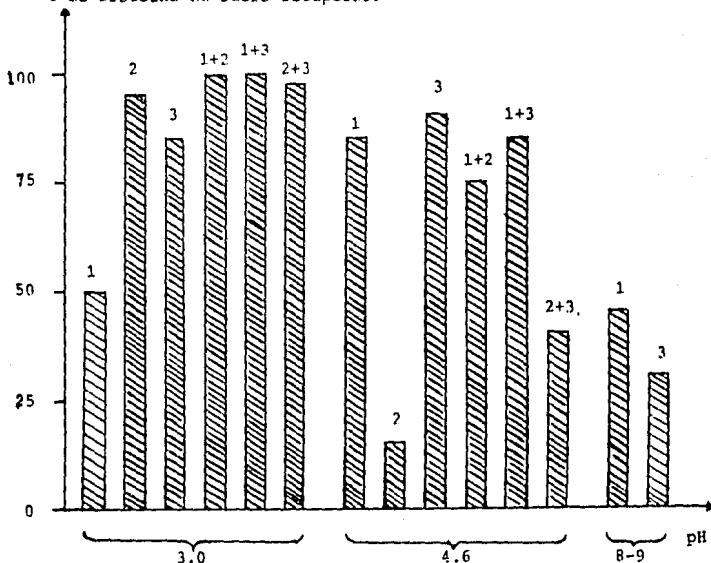
La bentonita es efectiva cuando se añade en una concentración del 3.0%, obteniéndose el 100% de la proteína y la riboflavina. No requiere del ajuste del pH y es el agente precipitante más barato (24).

Se puede utilizar una combinación de los dos agentes precipitantes porque su poder aumenta, haciendo el proceso más efectivo. No es necesaria la adición de concentraciones tan altas como se deduce de la gráfica # 5.

La presencia de este tipo de precipitantes en el producto terminado no es dañina e inclusive llegan a beneficiar con su presencia. Por ejemplo: el hexametáfosfato es un aditivo común en la alimentación para humanos, la bentonita sirve de enlazante, emulsificante y clarificante y el lignosulfato como adhesivo enlazante y como ligante en alimentos granulosos (24).

Cráfica # 5. Precipitación de las proteínas del lactosero con bentonita (1), hexametafosfato (2) y lignosulfato (3) a varios pH's en una concentración del 2% y en combinación a un pH de 3.0, añadiendo cada uno en 1% y a un pH de 4.6 añadiendo 0.5% de cada uno (24).

% de proteína de suero recuperada



El precipitado obtenido se filtra, se centrifuga o se sedimenta por gravedad para después descartar el sobrenadante (24).

Otra sustancia precipitante es la carboximetilcelulosa (CMC), la cual forma complejos insolubles con las proteínas del suero, más aún si la CMC se encuentra en su forma modificada sustituyéndola en un alto grado (52). Esto quiere decir

que en su estructura contiene amidas secundarias de acetyl, metoxil o carboximetil con cadenas laterales de isopropil, n-propil, isobutil, n butil o ciclohexil, provocando mayor precipitación de la proteína (147). La eficiencia para recuperar la proteína obtenida con CMC se ve limitada por la naturaleza hidrofílica del complejo que se forma. Si se utiliza CMC-modificada el complejo es menos hidrofílico y el precipitado se encuentra menos apelmazado, es más estable ante una fuerza iónica mayor y se precipita más proteína de manera más eficiente (147). La recuperación de proteína se esquematiza en la figura # 17 (51).

(7) FILTRACION EN GEL.

Es una técnica de laboratorio que se puede llegar a comercializar. El sistema consta de una gel hidratada que actúa como un tamizador selectivo de tamaño. Selecciona las partículas de peso molecular pequeño, las cuales son capaces de integrarse al disolvente dentro de los huecos del gel. Las moléculas de proteína permanecen en el disolvente rodeando los huecos. Se recupera de un 30 a un 80%. El proceso es caro, su rendimiento del 65% y se contamina porque los huecos de la columna de gel se obstruyen fácilmente (26)

A manera de resumen, se pueden notificar las diferencias existentes en los concentrados de proteína obtenidos por diversos tratamientos y pretratamientos del suero más comerciales y presentes en el mercado en la tabla # 14 (114).

Figura f 17. Diagrama para la obtención de proteína de lactosuero con carboximetilcelulosa (51).

Determinar la proporción que hay que añadir de CMC al suero para máxima precipitación.



Añadir solución de alto grado de sustitución de CMC al suero. Añadir HCl 1N a pH de 3.2, 40°C y centrifugar a 100 g/5 mins.

SOBRENADANTE
(se descarta)

SEDIMENTO (Complejo CMC-proteína)

Si se necesita, lavar por centrifugación tres veces con HCl a pH de 3.2.



Añadir igual masa de agua y NaOH 1N para llevar el pH de 5.0-10.



CMC - PROTEÍNA SOLUBLE
Añadir CaCl_2 2M y centrifugar a 100g/10 min.

SOBRENADANTE
(Concentrado de proteína)
Se concentra aún más por cualquier método convencional.

SEDIMENTO (Ca-CMC)



Añadir HCl 1N a pH de 2.0 para lograr una reutilización posterior en la precipitación de proteínas del lactosuero.

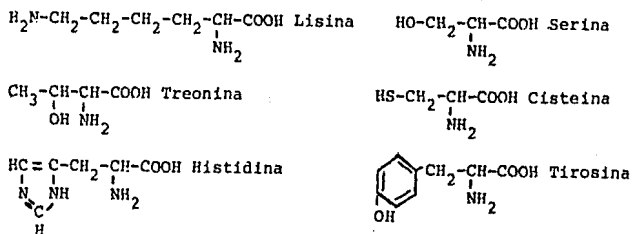
PRODUCTO		PROTEINA	GRASA	CENIZAS	LACTOSA	HUMEDAD
Ultrafiltrado/al	a	76.0	4.0	4.3	12.0	3.7
ta proteína	b	76.0	2.0	4.5	13.8	3.7
Con bajo contenido de sodio (.2%)		81.5	4.0	3.2	7.3	4.0
Con bajo contenido de lactosa		80.5	6.0	2.8	0.5*	4.0
Con bajo contenido de colesterol (0.05%)		76.0	1.0	4.5	14.8	3.7
Estable al calor	c	56.0	4.3	4.3	31.7	3.7
	d	55.2	8.2	6.2	26.2	4.2
	e	75.0	12.0	2.0	7.0	4.0
	f	60.0	-	7.0	30.0	3.0
	g	80.0	-	4.0	11.0	5.0
	h	30.0	-	7.0	58.0	5.0
	i	70.0	-	5.0	20.0	5.0
	j	30.8	1.6	8.5**	51.1	3.5
Hidrolizado	k	12.0	-	1.9	5.0***	25.0
	l	11.5	-	9.0	5.0***	27.0
Hidrolizado y enriquecido con proteína		18.0	-	5.5	3.5***	28.0

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k y l; son variedades comerciales del mismo producto.
 * Otros carbohidratos (6.2%) ** Sales orgánicas de la leche (4.5)
 *** La glucosa y la galactosa pueden ser obtenidas por diferencia (50/50).

Tabla # 14. Composición química aproximada de algunos concentrados de proteína de calidad comercial (11A).

(8) UNA MODALIDAD DEL CONCENTRADO DE PROTEINA.

Cuando el concentrado de proteína de lactosuero se obtiene por coagulación, ya sea por acidificación o por calentamiento, es insoluble y puede resultar arenoso, pero se le puede modificar haciéndolo más funcional al añadirle anhídrido succínico para succinilarlo (131). La reacción de succinilación sigue el mecanismo de la adición de un carbonilo del anhídrido succínico en todos los grupos nucleofílicos de los residuos de aminoácidos tales como: el grupo E-NH₂ de la lisina, -OH de serina y treonina, -SH de la cisteína, fenol de la tirosina e imidazol de la histidina (127).



(79)

La velocidad de la reacción depende de la velocidad de ataque del nucleófilo que a la vez es dependiente de la disponibilidad espacial de las moléculas de proteína (superficie de ataque) (127). La proteína se succinila con 12 moles de anhídrido succínico por cada mol de lisina presente. El concentrado succinilado se lava dos veces con agua, se neutraliza y se seca en frío. En este concentrado la concentra-

ción de carbohidratos disminuye y la de proteína aumenta, ya que el pH, la manipulación y el lavado durante el proceso de obtención provocan la pérdida de carbohidratos con un subsecuente aumento en el contenido de proteína como se ve en la tabla # 15 (131).

Tabla # 15. Composición del concentrado de proteína succinilado (130, 131).

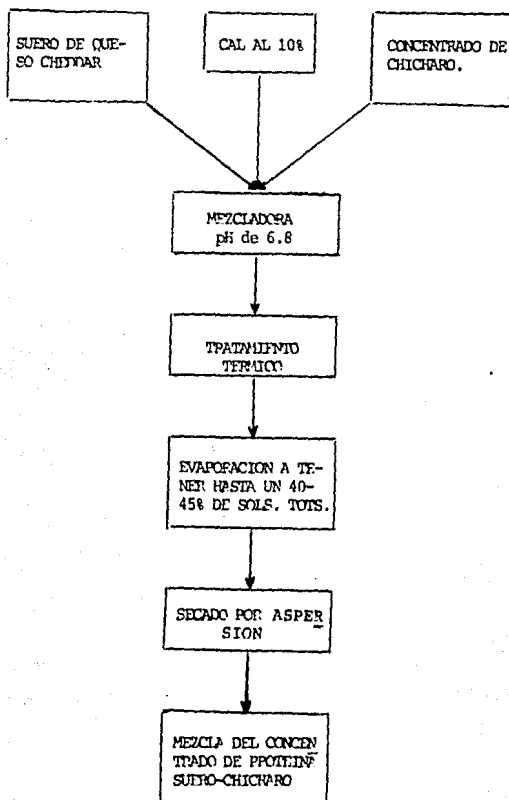
	Concentrado de proteína	Concentrado de proteína succinilado.
Humedad	5.4	1.7
Proteína	(71.6)*67.7	74.9(76.2)*
Cenizas	(5.5)* 5.2	5.7 (5.8)*
Grasa	----	----
Carbohidratos	(22.9)*21.7	17.3(18.6)*

* Base seca.

(9) CASOS ESPECIALES.

(a) Concentrado de proteína de chícharo y lactosuero.- Se puede fabricar un concentrado de proteína de chícharo y lactosuero como se muestra en la figura # 18. El lactosuero se mezcla completamente con el concentrado de chícharo y el pH se ajusta a 6.8 con una suspensión acuosa al 10% de Ca(OH)_2 . La proporción que se adiciona de suero y de concentrado de chícharo se calcula para obtener una relación semejante a la existente entre la caseína y la leche descremada en polvo. La mezcla se somete a uno de los dos tratamientos térmicos: 63°C durante 30 mins. u 85°C durante 20 mins.

Figura # 18. Obtención del concentrado de proteína chícharo-lactosuero (100).



Luego se concentra evaporándolo a 50°C y 26 pulgadas de Hg de vacío hasta una concentración de 40-45% de sólidos totales. Finalmente el producto se seca por aspersión a una temperatura

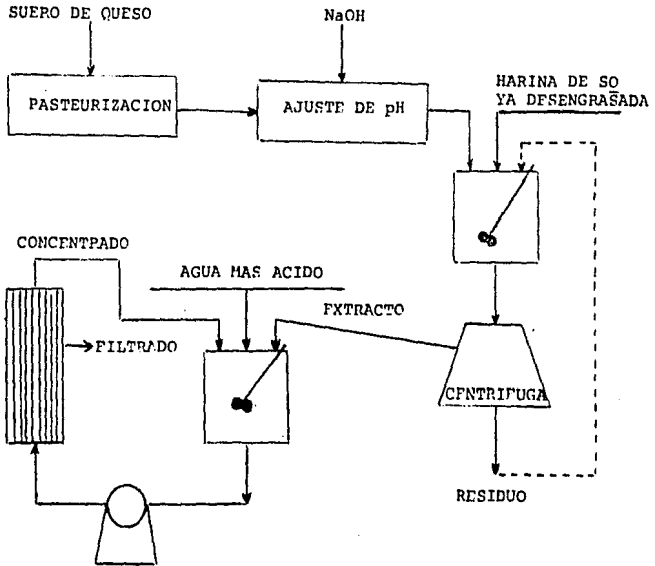
de 230°C para el aire que circula internamente y una temperatura de 85°C para el externo (100). Este método suprime la necesidad de cristalización de la lactosa para evitar que el polvo resultante sea higroscópico.

(b) Concentrado de proteína de soya y lactosuero.-

Para producir mezclas de soya-suero se utiliza como materia prima lactosuero dulce o ácido y harina de soya desengrasada que se mezclan en un proceso de co-extracción seguido de una coultrafiltración. El diagrama para su obtención se muestra en la figura # 19. El suero se pasteuriza a 63°C durante 30 minutos. Un hidróxido (NaOH) se añade para llevar el pH a 9.0. Una parte en peso de harina de soya desengrasada se mezcla con vigorosa agitación con nueve partes en peso de suero. Después de la extracción de la proteína en un tanque con agitación a 30°C, 30 minutos, la mezcla poco espesa se alimenta a una centrífuga para provocar la sedimentación de los materiales insolubles residuales (carbohidratos insolubles, fibra, proteína insoluble de la soya y sales insolubles del suero como lactato de calcio y fosfatos) y separar el extracto que contiene la mayoría de los compuestos solubles (proteína, azúcares y cenizas). Los materiales residuales se recirculan y se resuspenden en 10 partes de suero pasteurizado a pH 9.0 y se vuelve a centrifugar (la proporción final es de 1:19 harina de soya-suero respectivamente). Los dos extractos se escurren y se utilizan como fuente de alimentación de la unidad de ultrafiltración. El pH de la combinación de los dos extractos se ajusta a 7.0 con HCl 6N antes de pasar a la ul-

trafiltración (96).

Figura # 19. Diagrama de flujo para la producción de la mezcla del concentrado soya-lactosuero por co-extracción y coultrafiltración (96).



La membrana de la unidad de UF tiene como límite la exclusión de pesos moleculares de 50000. La presión en la entrada es de 274 KPa y la de la salida de 205 KPa, la temperatura de 50°C para poder controlar el crecimiento microbiano y mejorar el flujo sin causar la desnaturalización de la proteína y el pH de 7.0. Se usa un flujo inicial de agua (tipo diafiltración) a temperatura apropiada y a una presión transmem-

brana con la finalidad de mantener la limpieza y eficiencia del sistema (96). Los extractos obtenidos escurridos se someten a evaporación al vacío y a secado para producir mezclas en polvo de 28-30% de proteína, 7-9% de cenizas, 0.5-3% de grasa y 58-60% de carbohidratos (84).

(10) ALMACENAMIENTO.

El concentrado de proteína obtenido como un producto en polvo se empaqueta y se almacena hasta el día de su distribución. Un polvo puede ser higroscópico o no higroscópico dependiendo de las condiciones de su procesamiento. Ambos se utilizan en alimentos aunque sus propiedades fisicoquímicas son diferentes y pueden afectar la calidad del producto durante el almacenamiento y su distribución (67). Si el concentrado de proteína contiene lactosa en estado amorfo será un polvo higroscópico y si la contiene en estado cristalino será no higroscópico.

El polvo higroscópico absorbe humedad lo cual provoca la solubilización de la lactosa amorfa en el sistema y su rearrreglo en la forma de celdas cristalinas, el agua es liberada y no embona intermolecularmente por lo que se presenta una discontinuidad en la absorción. Algunos autores dicen que el rango de actividad acuosa (A_w) al que ocurre dicha discontinuidad es de 0.5-0.6 a 25°C y otros de 0.35-0.52 a 25°C para el concentrado de proteína de lactosuero (119). Esto trae como consecuencia que suceda la reacción de Maillard y por lo tanto el encafecimiento no enzimático del producto durante su almacena-

miento, con pérdida de calidad nutricional, de lisina disponible (119) y de vida de anaquel (73). La reacción de Maillard sucede cuando los azúcares y las proteínas del producto alimenticio se combinan. En este caso un grupo aminado de la lisina, reacciona inicialmente con el grupo aldehídico de la lactosa para formar un compuesto fuertemente reductor, en el cual los dos componentes están " enmascarados ". Hay un entrecruzamiento vía formación lisoalanina y de dehidroalanina o formación isopeptídica con los grupos amida o residuos de glutamina y aspargina. No se trata de una reacción simple, sino de un conjunto de reacciones complejas desconocidas en donde hay formación de compuestos condensados y reductores que son pigmentos oscuros (melanoídes) y que se manifiestan por los fenómenos siguientes: descenso del pH, liberación de anhídrido carbónico, producción de compuestos reductores y fluorescentes, insolubilización de las proteínas, coloración oscura y sabor a caramelo (49). La velocidad de la reacción de Maillard aumenta con la humedad (aumento del Aw) liberada por la recristalización de la lactosa (67) y con la temperatura (73). Las primeras reacciones de Maillard son reversibles y las últimas irreversibles (80). Si sucede la reacción de Maillard el concentrado de proteína pierde solubilidad.

El método de almacenamiento influye en la pérdida de calidad del concentrado de proteína higroscópico. Cuando se emplea un empaque impermeable, la cantidad de agua extra liberada durante la recristalización puede quedar atrapada dentro

del producto, así como en el espacio gaseoso del empaque. Esto provoca el aumento del Aw del concentrado y la aceleración de las reacciones de deterioro (19). La agregación se confirma con la precipitación.

Es conveniente entonces que el polvo no sea higroscópico y que la lactosa presente en el concentrado (si es que está presente) se encuentre en la forma cristalina o de lo contrario cristalizarla antes de almacenar el concentrado. Se ha demostrado que el producto no muestra discontinuidad alguna cuando no es higroscópico (119).

El mejor método para conservar en condiciones óptimas el concentrado, es el empacado al vacío (83) en latas o en bolsas de aluminio para evitar que la luz lo deteriore (64). Por otro lado es necesario controlar las fluctuaciones y mantener las condiciones de almacenamiento estables el mayor tiempo posible.

V CARACTERISTICAS, PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y REOLOGICAS DEL CONCENTRADO DE PROTEINA DE SUERO DE LECHE.

El incorporar concentrado de proteína a las formulaciones de los alimentos, implica tener en cuenta que características y propiedades tiene éste, que cualidades les imparte y de que forma los altera. Es por esto, que es necesario llevar a cabo un control de calidad del producto, tan estricto como el proveedor lo desee o considere necesario para satisfacer los requerimientos que el usuario exija.

(1) ANALISIS Y CONTROL DE CALIDAD DEL CONCENTRADO DE PROTEINA DE SUERO DE LECHE (CPS).

(a) Suero fluido.- Al suero fluido que se va a procesar para obtener el concentrado se le puede considerar cuenta microbiana y pH adecuados para su procesamiento.

(b) Concentrado de proteína de lactosuero (CPS).- El CPS obtenido presenta propiedades físicas y organolépticas que engloban las características de color, olor, sabor, aglomeración, ablandamiento, cambio de dimensión y daño de las partículas después del secado, ya que se trata de un polvo. Dentro de su composición existe la determinación del análisis proximal, ya que es el que asegura la integridad funcional del producto e incluye: % de proteína, % de carbohidratos, % de grasa, % de humedad y % de cenizas. Como consideraciones microbiológicas se puede determinar: cuenta total (menor a 30000 colonias por g. de muestra) ; coliformes, hongos y levaduras (por debajo de 10 colonias

por g:) y Salmonella (negativo] (138).

Siempre se buscará que el CPS sea un producto homogéneo, aunque se encuentre en la forma de polvo y de que no forme costras bajo las condiciones ordinarias del almacenamiento. Debe tener el análisis proximal adecuado, generalmente un pH de 6.2 en una solución al 10%, un índice de solubilidad de 0.1 (ml), un contenido microbiológico excelentemente bajo, aminoácidos esenciales como: lisina, triptófano, fenil-alanina, metionina, treonina, leucina, isoleucina y valina y un PER de 2.8 a 3.2 para que la calidad del mismo sea consistente (41).

(c) El almacenamiento.- Muchas interacciones que causan el deterioro en las propiedades fisicoquímicas del CPS ocurren durante el almacenamiento como lo son las reacciones de Maillard que van acompañadas de producción de agua, una disminución de pH, producción de CO_2 , disminución en la dispersibilidad de la proteína, decoloración del polvo, desarrollo de sabores de rancidez, mohoso o glutinoso, aceitoso, a pescado y seboso. Los malos sabores se deben a alteraciones químicas como hidrólisis, oxidación, descarboxilación y deshidratación de las grasas y las interacciones proteína-lactosa (68). Las reacciones proteína-lactosa son no enzimáticas y dan complejos asociados de alto peso molecular y no volátiles entre lactosa y residuos de aminoácido como lisina. Los aminoácidos libres se degradan rápidamente sobretodo con luz y en presencia de riboflavina (68).

(d) Calidad de la proteína.- El contenido de ami-

noácidos esenciales en un alimento nos da la pauta para evaluar la calidad de la(s) proteína(s). Para esto se calcula el porcentaje químico del alimento que corresponde al porcentaje de aminoácidos más bajo calculado para los aminoácidos esenciales; valor que corresponde al aminoácido limitante presente en la formulación y nos da una aproximación de la eficiencia de la utilización del alimento. Conviene que los alimentos posean porcentajes químicos elevados (135).

El CPS tiene un buen balance en su contenido de aminoácidos comparándolo con el patrón de la FAO como se muestra en la tabla # 16 y en conclusión se establece que el CPS aumenta el porcentaje químico y disminuye costos, ya que tiene más lisina y aminoácidos azufrados que la leche descremada en polvo (135).

Tabla # 16. Contenido de aminoácidos esenciales y de proteína en el CPS y patrón de la FAO (135).

INGREDIENTE	ISOLEU	LEU	LIS	CIST	FENA	TREO	VAL	%PROT.
Patrón FAO	40	70	55	35	60	40	50	---
CPS	60.8	107.2	87.4	44.5	63.8	63.6	59.1	31.0

El contenido de aminoácidos esenciales está dado en mg/g de proteína.

(e) Análisis cualitativo y cuantitativo de la proteína presente en el CPS.- Una buena técnica de separación de las proteínas del lactosuero es la cromatografía de enfoque, la cual consiste en una columna de cromatografía en donde se

produce un gradiente de pH dentro de un intercambiador iónico. Se utiliza una mezcla de buffers; uno posee la misma carga que el cambiador iónico y el otro se corre a pH diferente de la columna intercambiadora.

Así se crea un gradiente de pH en la columna, mientras los buffers se mezclan gradualmente. El gradiente sirve para eluir las proteínas enlazadas, en el orden de sus puntos isoeléctricos.

Este método es de alta sensibilidad y se utiliza como control de calidad para evaluar la retención que existe de proteína en los sistemas de membranas (UF y OI) para la obtención del CPS (102).

Otro método para medir cuantitativamente las proteínas del CPS es el de espectrofotometría de bandas teñidas de proteína obtenidas después de haber realizado la electroforesis en gel de poliacrilamida (53).

Esta técnica puede mejorar con la adición de buffer ácido y agentes disociantes como el dodecil sulfato de sodio (23). O también la electroforesis de frontera móvil, ultracentrifugación analítica, microscopía de transmisión electrónica y diferencia en las solubilidades en varios sistemas de disolventes son técnicas adecuadas (23).

(f) Análisis de la funcionalidad.- La funcionalidad de la proteína se investiga mediante la actividad de otros ingredientes en el alimento, la modificación que éste sufre por el comportamiento de la proteína a través de la interacción con los demás ingredientes y por lo que en conjunto su-

fren al procesarse el alimento. Para esto se utiliza el llamado alimento modelo, el cual contiene la proteína a analizar. El alimento modelo provee las bases para evaluar las diferencias que se presentan al aplicar un determinado tipo de proteína, además de mostrar los factores que deben ser controlados y evaluados para obtener un alimento reproducible.

Los factores que se pueden controlar y que son significativos en el alimento modelo son el tipo de aditivo y su concentración; orden de adición de los ingredientes; pH y momento para aplicar la homogenización y la temperatura del proceso.

Así por ejemplo, dependiendo del modelo se puede evaluar lo que sucede al sustituir CPS por las lipoproteínas del huevo o lo que sucede al añadirlo en lugar de caseína en una emulsión no ácida, las características de gelatinización al finalizar la operación de batido y las propiedades estabilizantes de las micelas de aire al tenerlo presente (50).

(g) Determinación de grasa.- La determinación de grasa en el CPS es importante, ya que la grasa en polvos sobretodo, es la causante de la rancidez del producto que la contiene.

La cantidad de grasa presente en los concentrados está relacionada con tres aspectos :

- * Epoca en que su elaboración se lleva a cabo,
- * El tipo de lactosuero utilizado y
- * El nivel de proteína en el producto final.

De los tres, el tipo de suero, es el que más pronuncia-

do efecto tiene, ya que depende de que sea dulce o ácido (116).

(h) Análisis de un polvo.- El comportamiento físico de materiales en polvo como es el caso de la mayoría de las presentaciones del CPS, está determinado por la cohesión entre sus partículas. Las propiedades que se correlacionan con la cohesión son: densidad a granel, compresibilidad e índice de relajación. La medición de estas propiedades nos brinda información sobre el comportamiento del polvo durante el procesamiento y almacenamiento bajo diferentes condiciones, además de ser un criterio de calidad (92).

La cohesión de un polvo está en función de la composición química del mismo y de las condiciones ambientales como la humedad relativa y la temperatura. Para apreciar el nivel de cohesión en los polvos; la densidad, la compresibilidad y la relajación se ponen en función de la actividad acuosa; más aún si el alimento es higroscópico. La densidad nos indica la actividad acuosa en el alimento en polvo, ya que la incorporación del agua en la matriz de los materiales provoca cambios en las dimensiones de las partículas (menor cantidad de masa en un determinado volumen habiendo una disminución de la densidad). La compresibilidad representa el cambio de densidad en función del esfuerzo normal a que se somete la muestra en una operación de compresión. Al variar la densidad varía asociadamente la compresibilidad según la absorción de agua que existe sobre la superficie de las partículas del polvo. El índice de relajación es en cambio la representación cuan-

titativa del grado y cinética de disipación de esfuerzos impuestos sobre un material en polvo después de habersele comprimido (92).

La magnitud de cada parámetro (los tres) representa un nivel determinado de cohesión, la que en el caso del CPS varía debido a cambios en la actividad acuosa y/o la temperatura. Fijando límites de tolerancia de los tres parámetros se puede garantizar la eficiencia, continuidad del proceso y calidad del producto. Los límites se determinan experimentalmente en función de los cambios máximos permisibles de los índices de calidad utilizados, los cuales pueden ser de origen bioquímico; como degradación de nutrientes, desarrollo microbiano y decaimiento de características organolépticas o de origen físico; como aglomeración, ablandamiento de partículas, cambio de dimensiones, etc. Cuando las variaciones físicas se deben a diferencias en la actividad acuosa, cambios en otro tipo de propiedades como bioquímicos y microbiológicos quedan implícitos (92).

(i) Diferentes pruebas que se efectúan en el CPS.

+ Contenido de lactosa. Espectrofotométricamente con la reacción de metilamina y precipitación de la grasa con solución ácida de acetato fosfotúngstico de zinc.

+ Contenido SH-SS (sulfhídrido-disulfuro). Utilizando ácido 5-5' ditiobis-2 nitrobenzoico, midiendo la absorbancia a 412 nm.

+ Contenido de hidroximetilfurfural. (Se usa para detectar el principio de la reacción de Maillard). Con

una técnica colorimétrica y leyendo la absorbancia a 443 nm. El hidroximetilfurfural aumenta en muestras calentadas y a pH alcalino.

+ Contenido de lisina disponible, Espectrofotométricamente con dinitrobenzensulfonato y dializando el CPS en contra de agua para extraer la lactosa que pudiera interferir (80).

(j) Determinación de proteína de CPS cuando lo contiene un alimento.- Se necesita un método para distinguir la contribución de sólidos provenientes de determinado tipo de proteína en las formulaciones alimenticias, como lo es aquel que se basa en el hecho de que las proteínas se enlazan con determinado colorante, fundamentándose en las propiedades únicas de cada una.

Por otro lado ya que las técnicas colorantes presentan ciertas limitantes, se puede utilizar la radioinmunodifusión, método que se basa en el aprovechamiento de anticuerpos específicos para todo tipo de proteína del CPS (36).

(k) Determinaciones en productos con CPS y de los diferentes tipos de CPS.- Siempre que se añade CPS a cualquier tipo de producto se realizan pruebas organolépticas-control con jueces especializados y calificados ya que en numerosas ocasiones el CPS es el responsable del cuerpo, textura, sabor, etc.

+ De manera general; la solubilidad a pH de 7 se usa para indicar la solubilidad de los CPS calentados en alimentos con pH neutro y la solubilidad a pH de 4.6 sirve co-

mo control de la proteína soluble, si el CPS no se ha calentado (80).

+ En queso cheddar por ejemplo, se puede determinar: total en sólidos por vaporización y posterior secado al vacío de las muestras; contenido de proteína por microkjeldahl con sulfato mercurico como catalizador; humedad por secado al vacío; pH con electrodo estándar de quinhidrona y cuando es menor al del control implica un crecimiento acelerado de ciertos organismos que previenen otros posibles defectos, este crecimiento se debe al nitrógeno libre, a la lactosa del CPS calentado y al aumento de humedad en el queso, lo que contribuye con un ligero incremento en la pastosidad y con un ligero decremento en la dureza del producto; cenizas por el método estándar establecido por la AOAC; contenido de lactosa con ácido fenol-sulfúrico y sabor, cuerpo y textura por pruebas panel (22).

+ En tortitas de carne, se puede determinar la blandura, la cual se evalúa midiendo el esfuerzo cortante (78).

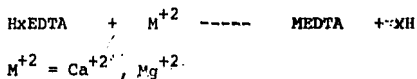
+ En mezclas soya-suero el contenido de proteína por microkjeldahl; humedad, grasa y cenizas por el método estándar; carbohidratos por diferencia; pH en una solución con un contenido del 10% (5, 63); y de manera general índice de solubilidad, vitamina A y C, metionina, actividad anti-tripsina, color, humectabilidad, dispersabilidad, viscosidad y densidad a granel (63).

+ En el CPS succinilado, el valor nutritivo, calculando la proporción neta de proteína. Parámetro que corres-

ponde a la relación de peso ganado por los animales-prueba más el peso perdido del animal alimentado con una dieta no proteica con la proteína ganada por el animal-prueba.

El CPS se puede succinilar hasta un 15% en los grupos $\epsilon\text{-NH}_2$ sin afectar la calidad de la proteína, porque la proteína modificada contiene suficiente lisina, cisteína y treonina sin succinilar, lo cual no altera y cubre los requerimientos de una alimentación normal. Cuando hay una succinilización mayor hay pérdida del valor nutricional ya que la disponibilidad de lisina disminuye, pero con posibles mejoras en las propiedades funcionales (126). Este concentrado tiene mayor contenido de proteína y menor cantidad de cenizas y de carbohidratos.

(1) Determinación de calcio y magnesio. El calcio y el magnesio se determinan en el CPS con EDTA a pH de 6.5 por titulación complejométrica utilizando un potenciómetro con el cual se determina el punto final de la titulación. El EDTA actúa como quelante, siendo la reacción la siguiente:



El valor de "x" depende del pH y de la presencia y naturaleza de otros ligandos. El método mide la liberación de protones de calcio y magnesio durante la titulación, ya que se ha demostrado que las proteínas tienen interacción con los metales. Este método tiene fines termodinámicos más que analíticos (33).

La proteína en el CPS bajo tratamiento térmico sufre de agregación molecular con mayor facilidad en presencia de calcio a pH de 2 a 12. Este fenómeno consiste en una multi-reacción dependiente del calcio. La cantidad de calcio para inducir los agregados de beta-lactoglobulina es equivalente a su carga neta negativa. El enlazamiento con calcio neutraliza las cargas negativas netas de las proteínas causando una precipitación isoeléctrica (136). Por otro lado los cloruros de calcio y magnesio colaboran a que se lleve a cabo la desnaturalización; el calcio y el magnesio se enlazan específicamente a la proteína desnaturalizada formando agregados.

(m) Determinación de nitratos y nitritos.- El contenido de nitratos y nitritos en el CPS es raro y escaso, sin embargo es necesario determinarlo ya que se le está utilizando en formulaciones para infantes. Los nitratos y nitritos pueden ser peligrosos porque forman las llamadas nitrosaminas que son sustancias cancerígenas (124).

(2) LA DESNATURALIZACION.

La desnaturalización se define como el desdoblamiento de las moléculas de proteína compactas y globulares en una estructura poco organizada. Este desdoblamiento usualmente va seguido de agregación por lo que se manifiesta por sí mismo con la pérdida de la solubilidad de la proteína (140).

La desnaturalización es una limitación del CPS. Causa la pérdida de la mayoría de las propiedades funcionales originales de la proteína (12), más aún si se requiere del control

del calentamiento para algunas de ellas, Si se conoce como el calentamiento afecta al CPS, se facilita el control del proceso y dar las propiedades funcionales y nutricionales específicas solicitadas (80).

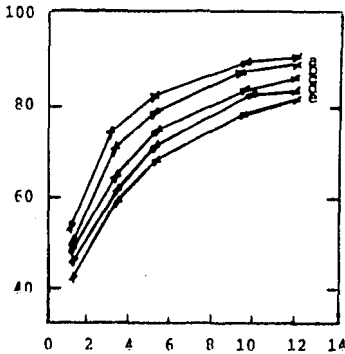
El CPS se desnaturaliza cuando se calienta a un determinado pH (136). Hay que poner especial atención en los pasos donde el CPS se calienta, se agita o se somete a cambios de pH (70). En este fenómeno las moléculas desdobladas de proteína desnaturalizada interactúan entre ellas en forma extensa dependiendo de la temperatura, pH, tiempo de calentamiento y contenido de calcio. Las interacciones provocan agregados de elevado peso molecular que imparten turbidez ocasionando un inconveniente para el uso del concentrado en ciertos alimentos y bebidas (70). Un polvo se considera adecuadamente tratado por calentamiento cuando contiene menos de 1.5 mg de proteína desnaturalizada por gramo de polvo (68). La calidad de la lactoalbúmina se deteriora también porque se pierde la lisina disponible cuando suceden las reacciones de Maillard por calentamiento (65).

La velocidad de desnaturalización está en función del pH (aumenta a pH alcalino), de la concentración de ciertos iones y del tipo de variante según la proteína tratada (68). La desnaturalización está íntimamente ligada con la relación temperatura-tiempo durante el calentamiento como se muestra en las gráficas 6 y 7 (72). La desnaturalización aumenta tanto con el tiempo como con la temperatura. Inicialmente la desnaturalización es mayor a altas temperaturas y llega hasta un 92%

en el proceso de ultracalentamiento aún tratándose de sólo 9 segundos a 149°C donde ya hay definitivamente un deterioro por sedimentación y pérdida del sabor.

Gráfica # 6. Efecto del calentamiento sobre la desnaturalización de las proteínas lábiles del CPS a diferentes tiempos de procesamiento y diferentes temperaturas (72).

% DE DESNATURALIZACION DE LA PROTEINA DE CPS



TIEMPO DE PROCESAMIENTO (SEG)

a=154°C, b=149°C, c=143°C, d=138°C y e=132°C.

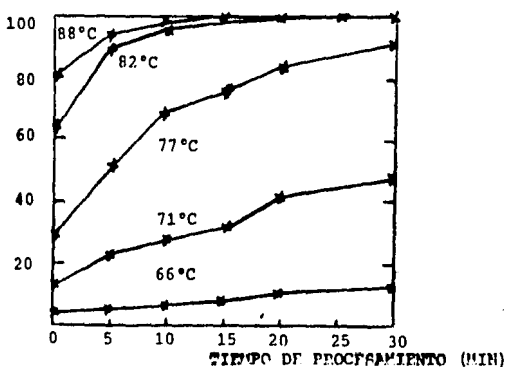
El equipo y el proceso también afectan a este fenómeno, el porcentaje de desnaturalización es de solamente el 60%, cuando se utilizan cubas y el calor no se aplica violentamente.

Se ha demostrado que a 100°C durante 30 minutos, queda menos del 1% de la proteína sin desnaturalizar (72). Cuando el calentamiento no excede a los 60°C y el pH es de 6.0 hay un parcial desdoblamiento por la rotura de algunos enlaces covalentes intramoleculares que les permiten a las moléculas a-

sumir, después de enfriarse, una conformación más soluble a pH 4.6. La solubilización de los agregados se fortalece al debilitarse enlaces intermoleculares.

Gráfica # 7. Efecto del calentamiento sobre la desnaturalización de las proteínas lábiles del CPS a diferentes tiempos de procesamiento y diferentes temperaturas en un proceso de tanque reactor (72)

% DE DESNATURALICACION DE LA PROTEINA DE CPS



A 73°C y pH de 8.0 las reacciones SH y SH-SS, predominan y los enlaces covalentes formados evitan que las moléculas desdobladas vuelvan a un estado soluble, incluso, después del enfriamiento. La formación intermolecular de enlaces disulfuro aumenta el tamaño de los agregados y promueve la insolubilización. A 95°C el grado de cambios en uniones covalentes es tan severo que resultan no-específicos provocando una desnaturalización y agregación irreversible independientemente del pH (66).

La temperatura, el pH y el tiempo de calentamiento influyen en el contenido SH del CPS como se puede ver en la tabla # 17. Al aumentar el pH, la temperatura o el tiempo, el contenido disminuye, sin embargo, aumenta el contenido de S-S. A pH 4.6 hay una relación lineal con la concentración de los grupos SH y la solubilidad. 20% de la proteína permanece soluble ya que la concentración de SH en el CPS calentado es cero, lo que significa 20% de la proteína sin desnaturalizar al calentar el concentrado 30 minutos a 95°C. Se cree que ese 20% corresponde a la fracción proteosa-peptona que tiene muy poca cantidad de cisteína-cistina.

Tabla # 17. Efectos del pH, tiempo y temperatura de calentamiento en el contenido de grupos sulfihídrido del CPS calentado (80).

CONDICIONES DE CALENTAMIENTO	PROMEDIO DE MICROMOLES SH/g CPS
Control (sin calentamiento)	7.0
pH 4.6	6.7
6.0	5.8
8.0	3.4
Tiempo 15 min	5.7
30 min	5.1
45 min	4.7
Temperatura 60°C	7.0
73°C	5.5
95°C	2.9

La pérdida de solubilidad no se explica completamente en términos del entrecruzamiento S-S. Los cambios que provocan la pérdida de la misma ocurren independientemente del balance SH-SS haciéndose irreversible (80).

A temperaturas menores de 70°C los cambios conformacionales inducidos en la lactoalbúmina y la lactoglobulina son más reversibles al enfriamiento porque a mayor temperatura la desnaturalización es menos reversible. La mayoría de las fracciones proteicas del CPS tienen puntos isoeléctricos superiores a 5.0, a pH 4.6 las proteínas tendrán carga neta positiva y esto sirve para contrarrestar las interacciones proteína-proteína (80).

De los componentes del CPS, tienen resistencia al calentamiento en orden creciente: inmunoglobulinas, albúmina sérica, beta-lactoglobulina, alfa-lactoalbúmina y fracción proteosa-peptona.

Los aminoácidos no cambian después del calentamiento, sólo el contenido de lisina es menor. Valina, leucina, tirosina, fenilalanina e histidina se afectan por el pH.

• Cuando el contenido de sólidos totales es mayor en el concentrado, se provoca una disminución en la desnaturalización de la beta-lactoglobulina A y B, pero acelera la desnaturalización de la alfa-lactoalbúmina. Un aumento en la concentración de lactosa tiende a aminorar la desnaturalización en ambas proteínas. La velocidad de desnaturalización de ambas es menor cuando el pH es 4.0 que cuando es 6.0 o 9.0 y mucho menor cuando es el isoeléctrico (57). Cuando el CPS se ha diali

zando la velocidad de desnaturalización de las proteínas disminuye al aumentar la concentración de proteína, de sales o de lactosa. Aparentemente las sales y la lactosa estabilizan a las proteínas en contra de la desnaturalización porque la presencia de carbohidratos reduce la cantidad de complejos que se forman durante el calentamiento (57). Sin embargo, hay autores que mencionan que cuando el CPS tiene NaCl, tanto la agregación como la desnaturalización aumentan a pH de 4.5 a 9.5, más aún si se trata de CaCl_2 o MgCl_2 . Pero si el pH es menor a 4.5, ninguna sal lo afecta. El efecto iónico de las sales se percibe incluso a concentraciones muy bajas. Cuando la fuerza iónica es mayor a 0.03 y la temperatura de 60 a 70°C, el Ca y el Mg no afectan a la desnaturalización, en cambio el Na sí, y si la temperatura aumenta, el hecho sucede al revés. La temperatura de desnaturalización varía según el contenido de sales (140).

La inmunoglobulina es la proteína más sensible al calentamiento y le afectan todas las sales minerales. El Na tiene un efecto desestabilizador solamente en la albúmina sérica, y el Ca y el Mg en todas las proteínas. La beta-lactoglobulina se ve especialmente afectada por el Ca, siendo la variedad genética A la más estable (136).

Cuando se llega a un 50-60% de desnaturalización, el CPS adquiere un sabor parecido al cereal cocido y emana un olor desagradable debido a la formación de sulfuros volátiles (68).

El grado de desnaturalización de las proteínas se determina midiendo la disminución en la solubilidad del concentra-

do en la zona del pH isoeléctrico (136) y se reporta como: proteína nativa residual del porcentaje total de proteína (56) como se muestra en la tabla # 18 o como el porcentaje de disminución de proteína que se calcula por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de desnat.} = \frac{\text{Prot. de la muestra} - \text{prot. de muestra calentada}}{\text{Proteína de la muestra.}}$$

y multiplicando el resultado por 100 (72). Esta técnica también se utiliza para determinar las fuerzas hidrofóbicas y las reacciones SH-SS (80).

Tabla # 18. % de desnaturalización de algunos polvos de CPS con diferente contenido de sólidos totales y de proteína (56).

Composición g/100 g de polvo			
POLVO	TOTAL DE SÓLIDOS	PROTEÍNA (NX6.38)	PROTEÍNA NATIVA *
A	93.8	82.0	15.0
B	92.9	73.8	13.3
C	92.7	74.8	29.0
D	92.3	68.7	6.9
E	94.0	85.6	48.4
F	92.5	85.0	31.9
G	93.0	86.8	23.4
H	90.8	84.5	24.2
I	95.9	53.4	81.4

* (% de proteína que queda sin desnaturalizar del polvo original)

Un método apropiado para estudiar el efecto del calentamiento de las proteínas en solución acuosa es el de la técnica calorimétrica, la cual por otro lado sirve para predecir

cambios anteriores a la desnaturalización de las proteínas. Dichos cambios no van acompañados por cambios bruscos de carácter físico y suceden antes de las transiciones térmicas efectivas (115).

(3) PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL CPS.

Tomando en cuenta las características funcionales, fisicoquímicas y reológicas que el CPS puede impartir a los alimentos, se analiza:

- * Dispersibilidad-solubilidad,
- * Viscosidad-estabilidad-capacidad espesante,
- * Emulsificación,
- * Expansión de espumas-estabilidad,
- * Adsorción de agua-ligante de ingredientes-poder de hidratación,
- * Gelatinización-formación de fibra y
- * Valor nutritivo-digestibilidad-ingrediente dietético (70).

Cada tipo de característica o propiedad se determina bajo una o varias clases específicas de análisis fundamentados; pudiéndose así, escoger el más conveniente según el parámetro a medir y la presentación del CPS con la que se esté trabajando.

Cabe mencionar que las propiedades funcionales están interrelacionadas y gobernadas por los cambios en la conformación globular (la desnaturalización) de las proteínas (120). La funcionalidad está influenciada marcadamente por la presen

cia y reactividad de ciertos residuos de aminoácidos como cisteína y cistina (140).

Las propiedades funcionales de las proteínas son un medio para definir si las proteínas pueden ser suplementadas o reemplazadas cuando se encuentran en los alimentos, sustituyendo las caras por unas más económicas, sobre todo cuando se trata de alimentos populares (132).

Es importante considerar que el CPS puede inclusive llegar a sustituir otros materiales ya conocidos siendo más digerible y conteniendo cerca del 70% de las características de la proteína de la leche humana (48). También presenta la ventaja de no tener sabor, pero sí de resaltar otros sabores, además de que su incorporación a los alimentos ayuda a la textura y masticabilidad, asegura una mejor distribución de la grasa y/o la humedad o simplemente imparte la viscosidad deseada y cada uno de estos atributos puede ajustarse a lo necesitado. Se dice que las proteínas de la leche son muy versátiles (113).

(a) Dispersabilidad-solubilidad.- La solubilidad es la propiedad que va a determinar la incorporación del CPS a los alimentos ya que la proteína debe estar generalmente en solución (96); y se ha notado que es de fácil dispersabilidad inclusive a pH's bajos (48). Es una propiedad funcional que se ve afectada por el tratamiento térmico (la solubilidad se pierde o se gana dependiendo del origen de la proteína) y por el pH como se muestra en la tabla # 19 (80).

Tabla # 19. Efecto del pH y la temperatura sobre la so-

lubilidad del CPS (80).

CONDICIONES	% DE PROTEINA SOLUBLE A pH 4.6	y	7.0
Control	90		100
Temp. 60°C	96		91
73°C	74		71
95°C	34		34
pH 4.6	69		69
6.0	76		71
8.0	60		56
Temp.-pH: 60°C-4.6	90		91
60°C-6.0	104		95
60°C-8.0	96		88
73°C-4.6	78		74
73°C-6.0	91		88
73°C-8.0	53		49
95°C-4.6	39		41
95°C-6.0	34		30
95°C-8.0	30		30

En la mayoría de los casos el contenido de proteína soluble disminuye al aumentar la temperatura, más aún si el pH es de 8.0. Cuando aumenta la temperatura, los puentes de hidrógeno y las interacciones electrostáticas se debilitan, en cambio las fuerzas hidrofóbicas se refuerzan sobretodo cuando la temperatura es de 60 a 70°C. Las reacciones de intercambio sulfhídrico y sulfhídrico-disulfuro se vuelven más marcadas, así como la frecuencia de colisión molecular debido al acrecentamiento de la energía cinética. El grado de desnaturalización y agregación de las moléculas de proteína con probable insolubilización, aumenta al aumentar la temperatura. El pH durante el calentamiento provoca desdoblamiento e interacciones in-

termoleculares ya que la reactividad sulfhídrico es dependiente del pH. Las reacciones sulfuro-disulfuro se promueven más a pH de 8.0 que a otros pH's. La ruptura de enlaces intramoleculares disulfuro, favorece la desnaturalización mientras que la formación de nuevos enlaces disulfuro intermoleculares favorece la agregación e insolubilización. Los efectos pH - temperatura son interdependientes como se puede ver en las gráficas # 8, 9 y 10 (80). A 60°C y pH de 6.0 hay un parcial desdoblamiento de la proteína por la rotura de algunos enlaces no covalentes intramoleculares que les permiten a las moléculas asumir después de enfriarse una conformación que es más soluble a pH 4.6. La solubilización de los agregados de proteína se ha fortalecido por estas condiciones de calentamiento, debilitando enlaces intermoleculares.

A 73°C y pH 8.0 las reacciones SH y SH-SS predominan y los enlaces covalentes formados evitan que las moléculas desdobladas vuelvan a un estado soluble incluso después de enfriarse; la formación intermolecular de enlaces disulfuro aumenta el tamaño de los agregados y promueve la insolubilización.

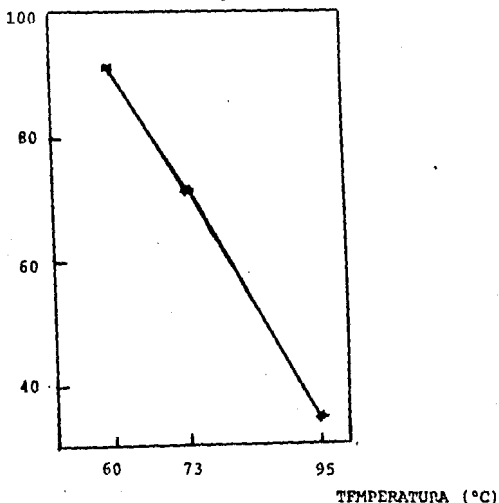
A 95°C el grado de cambios en uniones covalentes y no covalentes es tan severo que resultan no específicos provocando una desnaturalización y agregación irreversible independientemente del pH.

A temperaturas menores de 70°C los cambios conformacionales inducidos en la alfa-lactoalbúmina y beta-lactoglobulina son más reversibles al enfriamiento, porque a mayor tempera-

tura la desnaturalización es menos reversible. La mayoría de las fracciones proteicas del CPS tienen puntos isoelectricos superiores de pI 5.0, por lo que a pH 4.6 las proteínas tendrán carga positiva neta, lo que sirve para oponerse a las interacciones proteína-proteína.

Gráfica # 8. Efecto de la temperatura de calentamiento en la solubilidad del CPS calentado (80).

% DE PROTEINA SOLUBLE A pH DE 7.0



La dependencia de la solubilidad en el pH se puede utilizar para evaluar la proteína en otras propiedades funcionales y análisis.

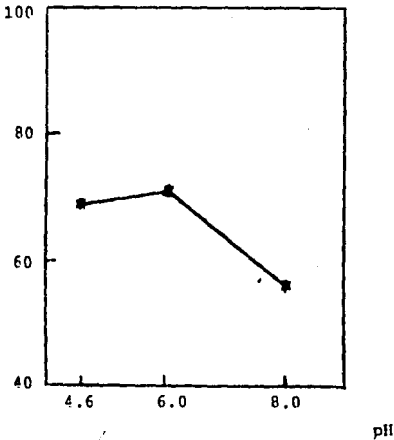
El contenido de proteína es otro factor que determina la dispersabilidad del CPS en el agua, ya que a altas concentra-

ciones, se solubiliza en agua fría con una leve agitación de cuchara y no precipita aún en presencia de ácidos.

Cuando al CPS se le incluye en los alimentos no produce ni sedimentos arenosos ni una sensación al paladar desagradable (2).

Gráfica # 9. Efecto del pH durante el calentamiento sobre la solubilidad del CPS calentado (80).

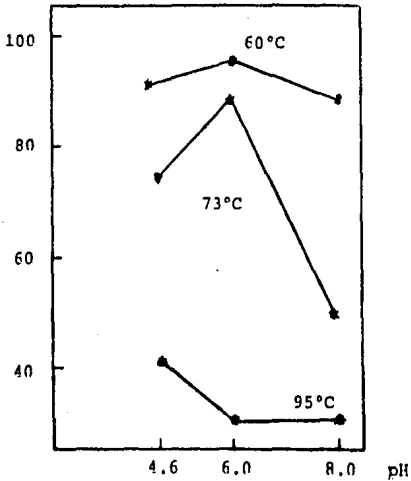
‡ DE PROTEÍNA SOLUBLE A pH DE 7.0



Los concentrados que consisten en la mezcla de soya-suero tienen altas solubilidades (ver tabla # 20) a pH's extremos, disminuyendo su solubilidad cerca de los pH's isoeléctricos (4.0 - 5.5.); pero en comparación al aislado de soya puro la mezcla es superior a cualquier pH (96). La solubilidad también aumenta cuando se trata del CPS sucínido (130).

Gráfica # 10. Efecto de la interacción entre el pH y la temperatura sobre la solubilidad de CPS concentrado (80).

% DE PROTEÍNA SOLUBLE A pH DE 7.0



(b) Viscosidad - estabilidad - capacidad espesante.

La viscosidad de las soluciones proteicas aumenta exponencialmente con la concentración (111). Esta propiedad se utiliza en beneficio de la fabricación de espumas; las sustancias depresoras de las espumas son los lípidos como los triglicéridos y fosfolípidos, sin embargo el incrementar la viscosidad ayuda mucho a la estabilidad, porque además el CPS tiene la capacidad de espumar en presencia de concentraciones relativamente altas de lípidos, si hay un calentamiento ante-

rior al batido, La capacidad espesante del concentrado es semejante a la de la albúmina de huevo (48) y se mejora aún más cuando el CPS se succinila (130).

Tabla # 20. Dispersibilidad de la proteína en el concentrado soya-suero (96).

pH	CONCENTRADO SOYA-SUERO:	ACIDO	DULCE
3.0		89.3	75.8
4.0		10.1	9.9
4.5		10.5	11.2
5.5		16.8	16.2
6.0		43.9	48.9
7.0		92.5	80.7

(c) Emulsificación.- La emulsificación es el proceso dinámico que incluye un rompimiento y recombinación o unión de los glóbulos de grasa. El CPS tiene propiedades emulsificantes mejores que las presentadas por los caseinatos y las proteínas de la soya. El CPS se logra adsorber en la interfase grasa-agua, estabilizando la emulsión (125). La capacidad emulsificante de éste se denota como la cantidad máxima de grasa que se emulsifica bajo determinadas condiciones por una cantidad estándar de proteína (34). Estabiliza emulsiones que necesitan soluciones de dodecíl sulfato de sodio como agente dispersante el cual se añade para evitar la floculación. La cantidad de proteína adsorbida por la fase grasosa se determina restando la parte residual en la fase principal después de la emulsificación del contenido proteico original y dividiendo ese valor entre la cantidad creada en el

área interfacial por el método de Kjeldhal (132). Cuando al CPS se le incluye en los alimentos su capacidad emulsificante se ve afectada por el tipo de equipo, el tiempo de procesamiento y la intensidad emulsificante deseada, distribución por tamaño de las gotas (determinada por método espectroturbidimétrico) y cantidad de proteína adsorbida en la fase grasa; por lo que hay necesidad de estandarizar el sistema donde las condiciones de flujo, potencia y suministro de energía estén controladas y medidas.

La distribución final del tamaño de los glóbulos y otras propiedades de la emulsión formada se determinan por las condiciones detalladas del balance entre el rompimiento y la unión durante la emulsificación. Los cambios en la concentración de los estabilizadores (gomas) de la emulsión, tienen un efecto en la distribución del tamaño de las partículas de los glóbulos.

La pureza del CPS determina cuál de las interacciones proteína-goma o mineral-goma es favorecida con el sistema, cosa que parece tener importancia en las propiedades funcionales del producto terminado (103).

La coalescencia depende del tiempo que tarde la interfase en cubrirse de moléculas de proteína y del desdoblamiento de las moléculas ya adsorbidas, impidiéndola este hecho (133).

Cuando la energía interfacial es muy pequeña, no ocurre casi desdoblamiento de la proteína. El tiempo depende de la probabilidad de encuentro de los glóbulos que a la vez depen-

de de la cantidad de grasa presente en la emulsión, de la intensidad emulsificante y del tiempo de procesamiento (del equipo y del consumo de potencia y energía).

La velocidad de las moléculas de proteína en la interfase depende del número de colisiones entre la proteína y la grasa por unidad de volumen y tiempo (proporción proteína-grasa en el área superficial y bajo ciertas condiciones de emulsificación), del coeficiente de adsorción de la proteína en la película y de la probabilidad de adsorción de las moléculas de proteína después de los choques en la interfase (propiedades moleculares tales como hidrofobicidad, flexibilidad y densidad de carga tanto de la cobertura de la proteína como de la superficie en la interfase) (125).

El que en un inicio de la emulsificación se cree una proporción de una gran área superficial de grasa/proteína causa que se reduzca la velocidad de adsorción de la proteína permitiendo la coalescencia antes de que se haya adsorbido suficiente proteína en la interfase (132).

El equipo emulsificante podría ser: un turbomezclador, homogenizador de válvula o dispositivo de ultrasonido. Cada uno da diferentes estabilidades y capacidades para hacer cremas de emulsiones proteicas estables e irreversibles. A veces es conveniente llevar a cabo una pre-emulsificación.

La sonicación (dispositivo de ultrasonido) proporciona glóbulos de grasa menores pero una distribución de tamaño más regular; cuando el tamaño de los glóbulos es menor, la velocidad con que se hace la emulsión cremosa disminuye (132).

Si se utiliza CPS en un 6% a pH 7.0 como emulsificante y se añade NaCl 0.2M, se mejora la velocidad de difusión molecular que gobierna la migración de la proteína y se controla mejor la adsorción en la interfase, ya que la sal suprime la doble capa eléctrica que rodea la proteína coloidal, además de que se reduce la repulsión electrostática durante la adsorción y entre las moléculas adsorbidas. Todo esto sin afectar la estabilidad de la emulsión (142).

Ya formada la emulsión, ésta se ve afectada por la cantidad de CPS, el pH, la concentración salina y el emulsificante a añadir y sin embargo, el volumen de la fase oleosa no interviene en su estabilidad. A mayor contenido de CPS disperso mayor estabilidad y viscosidad adecuada. A pH 5.0 hay mucho menor estabilidad de la emulsión que a pH de 3.0 o de 9.0, a pesar de que a pH 5.0 la viscosidad es mejor; esto se debe a que el pH afecta a el tamaño de los glóbulos de grasa, siendo más grandes a pH 5.0, ya que el tamaño de los glóbulos va siendo cada vez menor al aumentar el pH. Por otro lado los glóbulos tienden a flocularse a pH 5.0.

A pH de 7.0 y aumentar la cantidad de concentrado hay mayor adsorción de la proteína en la superficie globular oleosa; por lo que la adsorción depende del pH de la dispersión proteica. La adsorción es máxima a pH de 5.0 provocando una disminución en la estabilidad de la emulsión porque la proteína tiende a formar una estructura granular. A pH de 9.0 la proteína forma una película delgada, que demuestra mayor orientación de la proteína en la interfase.

La adsorción de la proteína en la superficie grasa es selectiva; a pH 7.0 se adsorben la lactoferrina, transferrina, beta-lactoglobulina e inmunoglobulina, la alfa-lactoalbúmina en menor grado y la albúmina sérica no se adsorbe.

Hay mayor adsorción de la alfa-lactoalbúmina a pH's más bajos y de beta-lactoglobulina a un pH mayor y específicamente a pH de 5.0 la albúmina sérica como se indica en la tabla # 21.

Tabla # 21. Abundancia relativa de las proteínas del CPS en la interfase a varios pH's (125).

Proteína	pH:	3	5	7	9
alfa-lactoalbúmina		48.3	24.4	11.0	9.9
beta-lactoglobulina		12.9	16.6	46.1	61.6
Inmunoglobulina		2.3	7.0	3.4	1.5
Albúmina sérica		1.0	10.6	2.7	1.0
Transferrina + lac toferrina		3.7	8.4	8.9	7.4

Los valores están dados en porcentajes.

El aumento en la adsorción de la proteína reduce la tensión superficial en beneficio de la estabilidad, la cual también está en función de la naturaleza electrostática de las proteínas.

A pH de 5.0 cerca del punto isoeléctrico de la mayoría de las proteínas del CPS, las cargas netas de las mismas se desvanecen y las fuerzas repulsivas entre las moléculas se eliminan formando una estructura granular que refleja una mayor agregación de proteína, así los glóbulos de grasa cubiertos de proteína se involucran en fuertes interacciones en per

juicio de la estabilidad y aumento de la viscosidad (142).

Algunas proteínas tienen grupos hidrofóbicos expuestos en la superficie o en las hendiduras de la molécula y pueden participar en interacciones hidrofóbicas de otras moléculas.

En sistemas grasa/agua en donde la proteína se desdobra en la interfase, el líquido orgánico solvata los residuos de aminoácidos hidrofóbicos, lo que provoca que el líquido orgánico penetre las cadenas hidrofóbicas de las moléculas, eliminándose las interacciones no polares (133). La abundancia relativa de dichos grupos se llama "efecto de hidrofobicidad". Se considera que la adsorción de proteína al principio ocurre por interacciones hidrofóbicas entre la proteína y la superficie grasa. La adsorción selectiva de las proteínas del CPS puede reflejar la diferencia en sus hidrofobicidades efectivas. Es por esto que la selectividad cambia con el pH, porque éste provoca cambios conformacionales de la proteína que afectan la hidrofobicidad por la exposición de nuevos grupos hidrofóbicos. Muchas veces en los sistemas ocurren interacciones proteína-proteína formándose complejos heterogéneos los cuales afectan la superficie hidrofóbica y la adsorción de la proteína.

Los emulsificantes que conviene utilizar son el azúcar esterificado, el monoestearato o la lecitina de soya ya que interfieren sólo ligeramente con la adsorción provocando un poco la pérdida de la estabilidad (142).

El calentamiento de la emulsión hecha con CPS después de la emulsificación no causa cambios físicos como podría ser la

gelatinización o precipitación de la proteína. En cambio si se calienta con CaCl_2 se provoca la gelatinización. Ya que la emulsión es estable al calentamiento sin la presencia de sal, existe la posibilidad de la pasteurización sin que haya precipitación.

La capacidad emulsificante del CPS se puede obtener conteniendo éste ya sea proteína soluble o insoluble. Cuando se trata de proteína insoluble la emulsión es un poco más estable de lo que de por sí, ya lo es, ya que difícilmente permite la incorporación de aire. Los glóbulos en emulsiones con CPS de proteína soluble son más pequeños y tienen una dispersión relativa más extensa que los de las emulsiones estabilizadas con CPS insoluble (103).

La oxidación catalizada por metales de los lípidos en una emulsión alimenticia es de importante cuidado, ya que acarrea muchas complicaciones si llega a suceder. Sin embargo, el CPS ayuda a evitar este fenómeno (9).

El concentrado de proteína soya-suero mencionado en el capítulo anterior también posee excelentes propiedades emulsificantes, al igual que el CPS succinilado (131).

(d) Expansión de espumas - estabilidad.- El CPS es un agente surfactante activo y la beta-lactoglobulina en particular es capaz de producir espumas estables (48) junto con otra sustancia proteica similar a la inmunoglobulina; sin embargo, ésta última no contiene cistina, por lo que se piensa que la fracción proteosa-peptona tiene algo que ver, dando espumas estables pero con el volumen un poco deprimido (54).

El CPS puede tener las mismas propiedades de batido, volumen y estabilidad que la albúmina de huevo porque produce y mantiene las espumas. Posée las ventajas de no tener sabor propio, pero sí de resaltar otros. Al ser soluble se le incorpora fácilmente en los alimentos aún a pH's bajos y es estable al calentamiento moderado (48).

El porcentaje que se añade de CPS es del 10% para que haya estabilidad. Se mejora la obtenida por el huevo aunque exista una concentración baja de sólidos. El pH utilizado en la preparación del cocentrado influye en sus propiedades espumantes. La respuesta al pH es diferente dependiendo de: (1) diferencias en la composición salina, especialmente de Ca^{+2} y fosfato en el suero ácido; (2) la presencia de glicomacropéptidos en el suero y (3) contenido elevado de ácido láctico/lactato en el suero ácido. El pH óptimo es aquel que facilita el máximo de adsorción proteica en la interfase siendo el punto de mínima carga molecular (111).

Un medio oxidante afecta la capacidad espumante si se involucra un intercambio disulfuro. La adición de una pequeña cantidad de H_2O_2 mejora el volumen de la espuma.

Algunas ocasiones es necesario que la espuma sea capaz de soportar la adición de sacarosa después del batido y el CPS lo logra. Esto parece estar relacionado más con las propiedades coagulativas que con las propiedades espumantes porque tiene capacidad de formar precipitados granulares (111).

Las propiedades espumantes se mejoran notablemente si se lleva a cabo un tratamiento térmico, se reduce el tiempo de

batido y aumenta la estabilidad. El tratamiento térmico provoca una leve desnaturalización debida a la disociación de los dímeros de beta-lactoglobulina, es favorable y dependiente del pH, la mejoría es espontáneamente reversible y en el único CPS que no se observa este efecto es en el preparado por precipitación (111).

Los concentrados preparados por ultracentrifugación no mejoran con calentamiento porque hay una asociación proteína-lípido, que se rompe cuando el concentrado se somete al tratamiento térmico. Si los lípidos no existieran como sucede con otros métodos de obtención del concentrado, no habría inconveniente alguno. Cuando el CPS es obtenido por coagulación las espumas son de excelente calidad, funcionan mejor a pH's bajos y con concentración relativamente elevada de sólidos.

La capacidad espumante del CPS se ve afectada si éste se ha almacenado en refrigeración con anterioridad (111).

El concentrado de chicharo-suero posee una capacidad espumante excelente. Forma espumas de color amarillento pero muy estables (100).

(e) Adsorción de agua-ligante de ingredientes-poder de hidratación.- La capacidad ligante o enlazante consiste en el hecho de retener mediante una unión sustancias como las grasas, los azúcares, los almidones y el agua (48).

El CPS sirve como un agente adhesivo, efecto que depende del exudado de la proteína presente en el producto, seguido de la coagulación durante el proceso térmico al que se somete el alimento. Entre mayor sea el contenido de proteína se obtiene

mayor jugosidad en el alimento por tener más capacidad para enlazar agua o ligar otras sustancias. Si el CPS contiene, aunque sean pocas cantidades de lactosa, el sabor del producto alimenticio se mejora notablemente (78).

Cuando el concentrado consta de la mezcla soya-suero hay una mayor capacidad de enlazamiento de agua dando productos con buen volumen de horneado y buena estructura sin tener que modificar las variables en el mezclado y en el horneado cuando estos procedimientos son necesarios (5). Este concentrado también presenta una mejor capacidad de hidratación del producto en el que se emplee (100).

La capacidad de adsorción de agua y grasa también se mejora notablemente cuando el CPS se succinila (130).

(f) Gelatinización-formación de fibra.- El CPS forma geles estables cuando sus soluciones acuosas se calientan alrededor de 80°C. Los geles consisten en mallas ramificadas desordenadas de cadenas polipéptidicas entrecruzadas por enlaces disulfuro. Esto se fundamenta en la facilidad de disolución de geles en presencia de exceso de compuestos con grupos -SH y en el hecho de que hay sustancias inhibitorias (específicas de los grupos -SH) de la velocidad de formación del gel. El concentrado se disuelve y se calienta previniendo el no añadir antes del calentamiento, compuestos que reaccionen con los grupos -SH de la proteína. Si no es así, la gelificación se retarda. Cuando la cantidad de grupos -SH en el CPS es elevada el gel es opaco y cuando es poca, el gel es claro. La opacidad del gel está relacionada a su estructura molecular en

una forma que probablemente involucra el grado de extensión de las moléculas individuales y sus estados de agregación que están determinados por un balance en fuerzas opuestas que se desconoce como operan en solución (56). Los geles se forman más rápido cuando se les calienta en atmósfera de nitrógeno en lugar de aire y cuando el pH es ácido en lugar de alcalino, porque se evita la repulsión electrostática entre las moléculas de proteína de cargas parecidas. En la gelatinización son tres factores los que influyen principalmente: pH, temperatura y concentración del CPS (56).

El tiempo de gelatinización no tiene relación directa con ninguno de los constituyentes del concentrado. Sólo hay una relación entre el total de grupos -SH y la claridad u opacidad del gel. Los geles claros tienden a tardar más en formarse como se muestra en la tabla # 22. Sin embargo, el pH sí lo afecta (ver gráfica # 11) y de manera muy marcada.

Tabla # 22. Contenido total y -SH libre, tiempo de gelificación y naturaleza del gel formado (56)

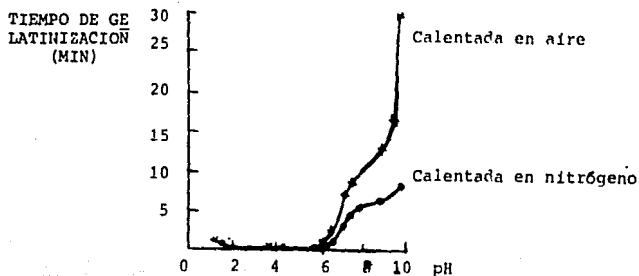
Total -SH	-SH libre	Tiempo de gelif.	Nat. del gel
1.33	0.021	2.5	Muy opaco
1.59	0	3.0	Muy opaco
0.72	0.243	2.5	Opaco
0.42	0.114	3.8	Opaco
0.27	0.093	4.0	Claro
0.24	0.015	14.0	Claro
0.28	0.003	21.0	Claro
0.13	0.048	5.8	Muy claro
0.10	0.018	9.0	Muy claro

Fl -SH total y libre está dado en m^l y el tiempo en minutos.

A pH 6.0 o más bajo, el gel se convierte en un coágulo re

representativo de una forma extrema de una clase de gel. A cualquier pH superior a 5.5 la gelatinización se acelera por calentamiento en ausencia de aire. Esto es contradictorio al hecho de que los pares de grupos -SH presentes en las moléculas separadas se oxidan por el O_2 para dar enlaces disulfuro (el CPS almacenado por un año a temperatura ambiente muestra un nivel reducido de los grupos -SH totales y tiempos de gelatinización más largos). La gelificación sería más rápida a pH alcalino y es lo opuesto a lo observado (56). Todo esto tampoco concuerda con el hecho de que el paso limitante de la velocidad de gelificación es la desnaturalización de la proteína, la mayoría de las proteínas del CPS tienen punto isoeléctrico menor a 6.0, como resultado, su velocidad de desnaturalización se incrementa al aumentar el pH. Una explicación razonable acerca de la dependencia en el pH recae en el hecho de que la aproximación cercana de dos diferentes moléculas de proteína puede verse inhibida si tienen cargas electrostáticas parecidas; el pH más alto provoca una fuerza repulsiva mayor.

Gráfica # 11. Efecto del pH y del oxígeno atmosférico en el tiempo de gelificación o coagulación de una solución al 10% de polvo de CPS (56).



La formación de coágulos inducidos por calentamiento bajo las condiciones adecuadas propicia la formación de gels firmes. Las características de coagulación de valor comercial deben aproximarse a las brindadas por el huevo; como por ejemplo en la tabla # 23 no todos los concentrados obtenidos por diferentes métodos (tabla # 10, página 37) poseen la misma capacidad de firmeza y no se comportan de igual manera a diferentes pH's y temperaturas. El CPS tiene aún mejor capacidad gelificante que el huevo a temperaturas menores, además de que tiene doble capacidad a temperaturas altas. Propiedad que se aprovecha y que es invaluable en procesos donde el producto es gradualmente calentado. La gelificación a bajas temperaturas sirve para darle al producto estructura capaz de ligar agua, grasa, azúcares y almidones que podrían ser expulsados por el producto mientras se le calienta (6).

Tabla # 23. Máxima firmeza en Newtons obtenida de diferentes CPS y clara de huevo en función del pH (38).
(Para entender esta tabla es necesario ver el capítulo IV pág. 37 y 38).

MATERIAL	pH :	9	8	7	6	5	4	3	2
Huevo		7.6	3.3	2.4	5.1	5.6			
(1)			7.1		2.3			3.2	2.2
(2)			2.5		0.7			1.4	0.8
(3)			4.4			10.5		1.3	1.7
(4)			5.9			8.3		0.5	0.3
(5)			3.6	5.8				2.1	1.6

El CPS desmineralizado proporciona coágulos muy fuertes pero una cuajada muy grasosa. Algunos concentrados funcionan a pH's extremos, cuestión de mucho interés, porque a pH's bajos se busca en la mayoría de los casos la posibilidad de formación de geles firmes y traslucidos y a pH's elevados una cuajada de consistencia elástica. Un calentamiento excesivo del producto debe evitarse para así poder mantener la máxima firmeza (38). Hay concentrados que forman geles con textura semejante a una gelatina, otros tienden a formar geles suaves, otros son grasosos y otros en el momento de su formación liberan suero. Los factores que controlan la fuerza gelificante del concentrado son: el tipo de tratamiento térmico, la fuerza iónica, la composición iónica y el tipo y la fuente del lactosuero (37).

Las geles que forma el CPS son capaces de retener agua y otros ingredientes. Esta propiedad se mejora después de tratar el CPS con una diálisis, lo que disminuye el contenido de lactosa y cenizas para obtener un concentrado resultante más fuerte, más cohesivo, menos elástico, más gomoso y masticable. Cuando se le añade sal, se mejoran sus características de textura (122).

Cuando el CPS se obtiene por precipitación con carboximetilcelulosa puede formar al ser batido geles y espumas estables si se encuentra en soluciones acuosas concentradas y calentadas (54).

(g) Valor nutritivo - digestibilidad - ingrediente dietético.- Las proteínas se añaden a los alimentos para

dar o impartir una fortificación nutricional (96).

La digestibilidad es aquella propiedad que ayuda a las formulaciones dietéticas (48). Se ha analizado y se ha establecido que el CPS contiene aminoácidos esenciales en una concentración razonable y balanceada (6), de fácil digestión que ayuda y mejora el valor nutricional de cualquier fórmula alimenticia (48).

Los diferentes concentrados tienen valores elevados de PER por la presencia de lisina, triptófano, fenilalanina, metionina, treonina, leucina, isoleucina y valina (2).

Cuando el CPS se succinila se mejoran aún más las propiedades funcionales ya comunes del CPS y por lo tanto se amplía su utilización en sistemas alimenticios. Se mejora definitivamente la digestibilidad de los aminoácidos de las proteínas del CPS, la cual radica en el hecho de que las enzimas citoplasmáticas del organismo tienen la facilidad de deacilar los grupos succinilo de los aminoácidos y de péptidos succinilados (126). Otras propiedades que ayudan a la buena digestibilidad de este tipo de concentrado, son la solubilidad, capacidad emulsificante y estabilidad al calentamiento (127).

VI USOS Y APLICACIONES EN ALIMENTOS DEL CONCENTRADO DE PROTEÍNA DE SUERO DE LECHE.

La utilización de las proteínas depende de su funcionalidad (56) . En cada área de aplicación, los concentrados de proteína se utilizan bajo diferente presentación, en diversas concentraciones y con diferentes características funcionales a impartir en los alimentos.

Dentro de las áreas en las que se puede utilizar el CPS se encuentran las siguientes: confitería, alimentos congelados y cocinados, panificación y pastelería, salsas y aderezos, bebidas frutales, carnes procesadas, sustituto de leche descremada y huevo en polvo, producto de cocina y pastas para sopas, complemento nutricional, salsa de tomate, flanes, natillas, mayonesa, tortillas de huevo, merengues, soufflés, capeados, margarina, mermelada, jaleas de fruta, papas fritas, frutas enlatadas, etc. (138).

(1) ALIMENTO PARA LACTANTES.

Un alimento para lactantes se puede preparar a bajo costo y enriqueciéndolo con proteína y energía utilizando el CPS de soya (35%) y lactosuero proveniente de suero ácido (65%). El PER reportado para esta combinación es de 2.42, el cual todavía se puede superar a 3.24 si se añade posteriormente a su fabricación metionina.

El método de manufactura consiste en adicionarle a la mezcla soya-suero, aceite y vitaminas liposolubles, homogeni-

zar, secar por aspersión y fortificar con vitaminas hidrosolubles, además de añadir saborizante (vainilla, piña, fresa, chocolate, etc.) y empacar. El saborizante mejora significativamente la palatabilidad del producto, ya que sin sabor gusta poco. Además el producto se encuentra beneficiosamente libre de la actividad anti-tripsina. La tripsina es una proteasa o enzima digestiva encargada de catalizar la hidrólisis específica de los enlaces peptídicos donde la función carbonilo es de lisina o arginina. Se encuentra en el intestino delgado y es secretada por el páncreas en la forma de tripsinógeno (precursor inactivo).

En este caso se combina soya deficiente de metionina y la proteína del CPS que como ya se sabe contiene aminoácidos azufrados; ambos forman una combinación superior en valor nutricional (62). La digestibilidad del producto es de 86% comparada con la de la leche descremada que es de 95%. Cuando se reconstituye con agua presenta una viscosidad adecuada y un 12% de sólidos dando una bebida de tipo lácteo excelente (63). Su consumo en niños de pre-escolar de familias de escasos recursos probó aumentos de la hemoglobina en sangre y en general mejoró el estado clínico de los niños (62). El costo de este producto es mucho más bajo que aquel en donde la formulación es a base de leche.

(2) BEBIDAS FRUTALES.

La mayoría son ácidas y pueden ser carbonatadas o no. El CPS se puede utilizar porque es estable; soluble a pH

bajo, no se precipita y no da una consistencia grumosa al paladar además de que contiene pocas cantidades de grasa (2); ventajas que tiene sobre otras proteínas que necesitarían ser modificadas.

El CPS que se utiliza es aquel proveniente tanto de suero dulce como ácido y que contiene de un 50-80% de proteína; funciona bien porque se dispersa en agua, inclusive fría, utilizando solamente una agitación de cuchara. En este caso no imparte sabor propio, tiene un mínimo de viscosidad a temperatura ambiente y poco color. El CPS únicamente se rehidrata antes de utilizarse o consumirse y la bebida puede alcanzar un valor nutricional análogo al de la leche (41) si éste se añade en un 5-8% del peso del alimento. El PER brindado en este caso es de 2.8-3.2.

Utilizando la mezcla soya-suero, la bebida se encuentra suplementada adecuadamente de proteína y solamente añadiéndola en un 4% del peso del alimento (101).

(3) BEBIDAS LACTEAS.

Las bebidas lácteas son aquellas que están hechas a base de leche generalmente descremada en polvo y en este caso se habla de suplirlas con CPS haciendo unas del tipo lácteo.

El CPS se utiliza en bebidas lácteas fermentadas y no fermentadas de gran aceptación popular (59) mejorando su valor nutritivo, sabor y apariencia. Si el CPS ha sido desmineralizado, los resultados son aún mejores ya que se aumenta el total de sólidos y el contenido de proteína y se le puede in-

cluir hasta en un 10% p/V (1).

Sin embargo, se puede usar el CPS obtenido por coagulación simplemente mezclándolo con la bebida ya sea en frío o en caliente. Las bebidas lácteas pueden tener un sabor a yogurt utilizando CPS de suero dulce y como inóculo de cultivo Lactobacillus bulgáricus, L. acidóphilus, L. helvético, L. casei y Streptococcus thermóphilus.

Se puede obtener una bebida láctea reconstituible, al mezclar CPS de suero dulce, saborizante de chocolate y crema y añadir en un 35% p/p a agua.

El inconveniente de estas bebidas es que son líquidas y hay que refrigerarlas porque tienen una vida de anaquel corta.

Cuando el CPS de suero ácido se neutraliza y se mezcla con soya sirve para reemplazar leche evaporada, muy utilizada en estos productos. Si las bebidas lácteas tienen una presentación en polvo como es el caso de la mayoría, tienen la ventaja de la facilidad y bajo costo del transporte, a parte de la facilidad de almacenamiento y vida de anaquel larga en comparación al producto fluido.

El CPS que se incluye en bebidas lácteas contiene de 55 a 67% de proteína sin desnaturalizar. Se añade aproximadamente en un 1.5%. Acepta sabores tan variados como los existentes comunmente en el mercado (vainilla, naranja, chocolate, fresa, etc.) y además brinda cremosidad y permite la mezcla con vitaminas (3).

Un nutriente que debe ser consumido constantemente por

niños y mujeres es el hierro. Una solución a este problema es el poder añadirlo sin provocar cambios detectables en el color o sabor del producto. Los alimentos que contienen co-coca y chocolate son los más adecuados porque el hierro añadido permanece completamente disponible. El compuesto de hierro que se utiliza para fortificar es el CPS ferripolifosfato, el cual se mezcla con los demás ingredientes de la bebida. Este concentrado no afecta al sabor y presenta buen aprovechamiento biológico (35).

Estas bebidas son un tónico terapéutico para los atletas y popularmente representan bebidas refrescantes (59).

(4) CEREALES.

Se utiliza en cereales porque se desea la presencia de metionina, treonina y lisina y por lo tanto funge como excelente suplemento de los mismos (20, 68), ya que hay cereales deficientes en estos aminoácidos.

Este tipo de mezclas cereal-CPS, se utilizan mucho en la industria de panificación. Los cereales beneficiados son el maíz, el trigo, la cebada, la avena, etc.; los cuales se emplean en la dieta diaria del ser humano, aportando una mejor calidad (100).

El CPS sustituye de un 35-60% p/p del contenido total del cereal, dependiendo del porcentaje en proteína del CPS aumentando el PER de 1.0 a 3.2 en la mayoría de los cereales.

Por otro lado, si en la utilización de estos cereales suplementados se requiere de leche, la cantidad de ésta a em-

plear se ve disminuida, además de que amplía las formulaciones que en su contenido llevan cereales (110).

En estos casos el CPS puede provenir tanto de suero ácido como dulce (120).

(5) COBERTURAS DE CHOCOLATE.

Al CPS proveniente de suero dulce se le incluye en productos porque al sustituir a la leche descremada en polvo aumenta la dulzura, textura, estabilidad y lustre; disminuye costos y produce una cobertura suave sin sabor salado mejorando (48).

La digestibilidad de la cobertura aumenta a un 99%.

El licor de chocolate en la formulación se reduce en un 2.5% si el CPS se encuentra desmineralizado y si se le mezcla con caseinato de calcio sustituye en un 100% a la leche descremada en polvo en la cobertura. El CPS utilizado en estos casos contiene del 12-30% de proteína dependiendo de la cantidad de caseinato añadida y se le incluye en un porcentaje del 16% en peso del total de la formulación.

(6) COMPLEMENTO NUTRICIONAL.

El CPS es un proveedor proteínico; su composición en aminoácidos sirve como parte importante de suplementación en las formulaciones dietéticas. Es ideal para dietas de pacientes con problemas en el riñón (48, 138) y en el hígado. Cuando en el CPS la lactosa se encuentra hidrolizada se utiliza para dietas geriátricas de convalecencia y para personas con problemas de tolerancia a la lactosa. Cuando se des-

mineraliza y presenta poca cantidad de sales minerales, es nutritivo para los deportistas ya que provoca un aumento en la fuerza muscular, un máximo en el aprovechamiento de oxígeno, Ca, K y P, y la reducción de la cantidad de grasa del cuerpo (6).

Además de beneficios subjetivos tales como menos fatiga, recuperación rápida después del esfuerzo del entrenamiento, mejor apetito y un mayor deseo hacia el ejercicio (17).

Como contiene 18 aminoácidos de los cuales el 50% son esenciales se valora por poseer gran digestibilidad, valor biológico y eficiencia proteica.

Para fungir como complemento nutricional el CPS contiene de un 50-80% de proteína sin desnaturalizar y generalmente es de suero dulce; por otro lado, busca el no tener niveles elevados de lactosa (138).

(7) CONFITERIA.

En los dulces (malvaviscos, caramelo macizo, dulces de leche), el CPS proporciona una vida de anaquel mayor que cuando se utiliza huevo (48) y un mayor poder edulcorante cuando la lactosa está hidrolizada además del buen aroma (144).

Funciona perfectamente bien en las suspensiones acuosas calentadas, fundamento esencial en la fabricación de la mayoría de los dulces.

En la mayor parte se utiliza CPS de suero dulce y se busca poder reemplazar a la leche condensada sin existir gra-

nulosidad, ni cristalización, además de que la caramelización se favorece (110). Cuando el CPS proviene de suero ácido el sabor del dulce es el comunmente conocido como agri-dulce. Los CPS's se emplean en un 30-50% del peso de la formulación del dulce con un contenido de 60-80% de proteína.

(8) ESTUDIOS ENZIMATICOS.

Se puede utilizar la influencia de las proteínas del CPS en desarrollos enzimáticos para obtener propiedades reológicas deseables en productos de queso directamente acidificados utilizando electroforesis y filtración en gel, estudios más que nada de tipo científico y de investigación.

Se selecciona un sistema enzimático y condiciones adecuadas para el proceso de acidificación del producto de queso a trabajar, se examina la cinética de la reacción enzimática y la inactivación térmica, y se analiza la influencia de las proteínas del CPS en el desarrollo enzimático de las propiedades reológicas deseadas en el producto. Se relaciona el grado de la capacidad de fusión del producto con el porcentaje y tipo de proteólisis enzimática. Controlando el desarrollo enzimático se obtienen ciertas propiedades reológicas. Las proteínas del CPS interfieren en el progreso de la proteólisis y con la capacidad de fusión del producto, sirviendo como controladores dependiendo de su concentración presente (77).

Para estos estudios se utiliza CPS a diferentes niveles de concentración de proteína y principalmente el proveniente

de suero ácido.

(9) HARINAS PARA PASTELERIA.

En las harinas para pastelería ("hot-cakes". pasteles de preparación doméstica, instantáneos, cremosos, panqués, bisquets, pays, donas, churros, etc.), coberturas y rellenos, se desea la presencia de lactoalbúmina porque proporciona las características de batido adecuadas. El CPS apropiado es el que se obtiene de suero ácido y con todos los niveles de proteína dependiendo del producto; mantiene al producto más fresco, conserva la humedad del mismo, alarga la vida de anaquel, no provoca pérdida del volumen en el momento del horneado y mejora la unión de los ingredientes en la masa para preparar el producto pastelero (48).

En la harina para donas por ejemplo, previene la excesiva absorción de aceite gracias a la formación de una delgada película lipofóbica en la superficie de las donas (68).

Para este tipo de usos si el CPS se mezcla con soya da mejores resultados que si se utiliza leche descremada en polvo o caseinatos (26).

(10) HELADOS.

En los helados se prefiere utilizar el CPS hidrolizado para evitar la cristalización de la lactosa y el causar cierta salinidad (110) cuando éste se emplea en su fabricación, además de que mejora el nivel de dulzura perseguido en el producto (3), funciona como sustituto de la sacarosa (144).

Otra opción es tener el CPS con 34% de proteína y añadirlo como jarabe de proteína para sustituir la leche descremada en polvo en un 50%.

El CPS en estos productos brinda textura haciendo posible la adición de cantidades menores de estabilizadores además de que evita la chiclosidad y que el producto se derrita con facilidad (17).

(11) MEZCLAS ALIMENTICIAS.

El CPS ha demostrado en muchas formulaciones que puede suplir a la leche descremada en polvo como se muestra en la tabla # 24.

De hecho hay que procurar desarrollar más mezclas de alimentos (de dos o más fuentes diferentes de proteína) tomando en cuenta la tolerancia y la aceptación del producto por el público, además de tener un efecto complementario (135). Se diseñan mezclas de proteína vegetal con proteína de origen lácteo para tener más beneficios, tanto de propiedades funcionales como de bajo costo. Se ha establecido la importancia de tener proteína de alta calidad en la dieta humana para que exista un crecimiento y se mantenga la salud en los seres humanos.

Estas mezclas tienen la ventaja de ser las donadoras fáciles de ciertas formulaciones nutritivas para personas necesitadas alrededor del mundo. También presentan la flexibilidad de que pueden ser reformuladas de acuerdo a su porcentaje químico manteniéndolo; si uno de los ingredientes es di-

Fácil de encontrar o si su precio varía (96).

Tabla # 24. Formulaciones de varias mezclas alimenticias con su respectivo contenido proteico y porcentaje químico (135).

% Maíz	% Soya	% Lis.	% Cac.	% CPS	% LDP	% Prot.	Sc. Q.
55	10	0	5.34	21.36	0	19.4	96.9
55	10	0	8.01	18.69	0	20.2	92.8
55	15	0	0.50	21.20	0	19.1	100.0
55	15	0	4.34	17.36	0	20.2	93.8
55	20	0	0	16.70	0	20.0	95.8
55	20	0	1.67	15.03	0	20.5	93.3
55	25	0	0	11.70	0	21.1	91.4
56.7	20	0	0	15.00	0	19.6	95.0
59.2	17.5	0	0	0	15	19.2	88.8
59.2	17.5	0	0	15.00	0	18.4	96.2
60	5	0	8.04	18.66	0	18.0	91.7
60	5	0.04	8.00	18.66	0	18.0	94.9
60	10	0	4.44	17.26	0	18.0	96.0
60	10	0	6.51	15.19	0	18.6	92.5
60	15	0	0.83	15.87	0	18.0	97.0
60	15	0	1.67	15.03	0	18.2	95.5
60	15	0	3.34	13.36	0	18.7	92.8
60	20	0	0	11.70	0	18.8	93.3
60	20	0	1.17	10.53	0	19.2	91.5

Lis. = Lisina

Cac. = Cacahuete

LDP = Leche descremada en polvo

Sc. Q. = Porcentaje Químico

En la mayoría de las mezclas el CPS no debe tener más allá de una leve desnaturalización y debe ser obtenido gene-

ralmente por UF para poder tener proteína en un rango que está entre el 14 y 70%. Por ejemplo:

(a) Mezclas soya-CPS.- Tienen del 27 al 35% de proteína. Se utilizan como suplemento de proteína para fortificación nutricional de los alimentos especiales donde se necesita alto contenido de proteína, poca lactosa y pocas sales minerales (96). La proteína debe estar casi sin desnaturizar para poder fungir como sustituto de la leche descremada en polvo. Estas mezclas son solubles en un rango amplio de pH y conviene más que el CPS provenga de suero ácido.

(b) Mezclas CPS-caseinato de Na o K.- La concentración de proteína es del 14%, presenta propiedades de fluidez. Se utiliza en mezclas secas para salsas, galletas y artículos de panificación. Tiene buenas cualidades de vaciado y sirve como sustituto de leche y es de bajo costo.

(c) Mezclas CPS (de suero dulce) con caseinato de Na y/o de Ca.- El contenido de proteína es del 35%. Se utiliza en productos de panificación, productos cárnicos no específicos, bebidas nutritivas y como sustituto de leche descremada en polvo. Sus propiedades funcionales se pueden adaptar a las necesidades del fabricante del alimento.

(d) Mezclas CPS con caseinato de Ca.- Contiene 50% de proteína. Se utiliza en alimentos donde se desea un alto contenido proteico y un sabor lácteo; como en los caramelos nutritivos, bebidas nutritivas, bebidas proteicas, suplementos lácteos, etc.

(e) CPS con caseinato de Na y/o de Ca.- Contiene

70% de proteína. Se usa en productos alimenticios nutricionalmente importantes. Es un excelente emulsificante y se emplea donde se necesita el enlazamiento de los componentes del alimento.

(f) CPS proveniente de suero dulce con aislado de proteína de soya y caseinato.- Contiene 35% de proteína. Se utiliza como sustituto de leche, en panificación, en galletas, pastelería y productos cárnicos con la ventaja de un costo menor.

(g) CPS de suero dulce con sólidos refinados de soya.- Contiene un 35% de proteína. Se emplea como sustituto de leche descremada en polvo, en confitería, panificación y pastelería.

(h) CPS de suero dulce con sólidos refinados de soya y sulfato de calcio.- Se le usa como proteína filamentosa y fibrosa con requerimiento de minerales específico para productos de panificación tales como los panes de grano entero.

El concentrado en este tipo de mezclas, tiene el doble propósito de cumplir con el requerimiento de alto contenido de minerales y el de fortificación proteica. En esta mezcla el contenido de proteína es también del 35%.

(i) CPS de suero dulce, leche descremada en polvo y caseinato de Na.-, Contiene 28% de proteína. Se utiliza como sustituto de leche en tratamientos térmicos donde las temperaturas son elevadas, como en la fabricación de las donas o donde las características de absorción de agua y grasa de la mezcla han sido diseñadas para dar las mismas propiedades de ma-

nufactura de la leche descremada en polvo.

(j) CPS con caseinato de Na y/o de Ca.- Contiene 35% de proteína. Sirve para dar sabor lácteo. La mezcla tiene alta estabilidad a variadas temperaturas y se le emplea en coberturas, productos lácteos congelados y aderezos supliendo a la leche descremada en polvo (7).

(12) PANIFICACION.

En la fabricación del pan el CPS participa en enlaces disulfuro con los péptidos del gluten, influyendo en el desarrollo, estabilidad y tolerancia de la masa.

La lactoglobulina se involucra activamente en el mecanismo de formación de la masa para panificación a través de interacciones tiol-disulfuro. Las propiedades reológicas de la masa, las cuales se atribuyen a un trabajo neto de 3a. dimensión de las proteínas del gluten, son dependientes del arreglo y del número de puentes disulfuro y grupos sulfihídrido de las proteínas componentes. La adición de oxidantes y el mezclado de la masa se practican para acelerar la oxidación de los grupos -SH y concomitantemente promover la formación de puentes S-S y así proveer una actividad neta proteica fuerte.

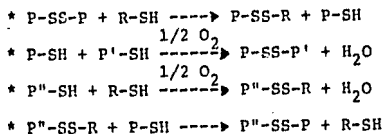
Las reacciones SH-SS ocurren durante el mezclado de la masa y son buenas bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Aquí se involucra la apertura y la reformación de enlaces SS mediados por compuestos de bajo peso molecular que contienen grupos -SH libres. La formación de nuevos polímeros proteicos mejora la extensibilidad de la masa, las propiedades de reten

ción de gas y el volumen final del pan. Sin embargo, los compuestos de bajo peso molecular con grupos -SH libres (glutación, cisteína) y tal vez la lactoglobulina y la lactoalbúmina pueden catalizar un intercambio excesivo, lo que provoca un debilitamiento en las propiedades reológicas de la harina. La oxidación directa de los grupos -SH aparentemente ocurre en un grado menor y por sí sola es inadecuada para considerarse en la formación de los nuevos enlaces (68).

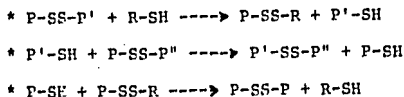
La interacción de iones hidrógeno con los residuos de metionina y cisteína de la harina y proteínas lácteas debe de intervenir para la aparición de ciertos compuestos en la masa.

Interacciones sucedidas en la fabricación de la masa del pan:

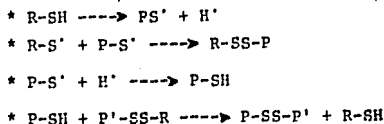
(a) Intercambio involucrando oxígeno molecular.-



(b) Intercambio sulfhídrido-disulfuro directo.-

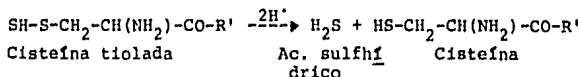
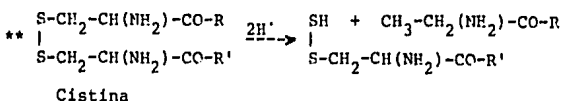
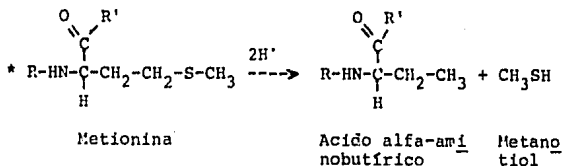


(c) Mecanismo de radical libre.-



(d) Mecanismo del ion hidrógeno incluyendo metionina (*)

y cisteína (***) como parte proteica.-

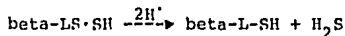
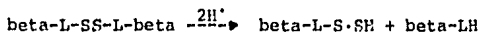


(e) Iones hidrógeno y beta-lactoglobulina.-

* beta-lactoglob.-SH (Tratamiento térmico bajo).-



** 2 beta-lactoglob.-S (Tratamiento térmico elevado).-



P-SS-P: Proteínas unidas por enlace disulfuro.

R-SH: Tioles de peso molecular bajo.

beta-L-SH: Molécula de lactoglobulina.

beta-L-SS-L-beta: Moléculas de beta-lactoglobulina unidas por enlace disulfuro.

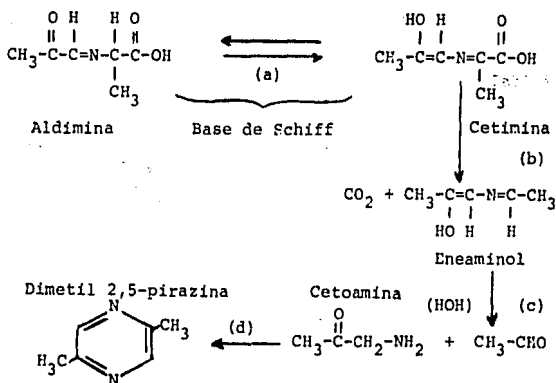
H: Ion hidrógeno.

beta-LH: Beta-lactoglobulina donde un residuo de cisteína se ha convertido en un residuo de alanina.

La temperatura y el tiempo de proceso en la panificación coagulan las proteínas. La coagulación va acompañada de desnaturalización, la cual se caracteriza por rompimiento de enlaces intramoleculares, desdoblamiento de las cadenas peptídicas, exposición de los grupos reactivos y una disminución en la afinidad por el agua. Estos cambios ocurren conforme avanza el horneado y al final del período de cocido. Las proteínas se desnaturalizan y forman parte de la estructura proteica del pan. La proteína y almidón de la costra del pan se desnaturalizan y deshidratan rápidamente (32).

El sabor a pan de los aminoácidos libres del CPS es un atributo de calidad muy importante. El sabor a pan es una mezcla compleja de aproximadamente 70 compuestos orgánicos. El en cafecimiento de Maillard y las degradaciones de Strecker son los mecanismos involucrados en la generación del sabor en el pan. La reacción de Maillard incluye: condensación, deshidratación, isomerización y polimerización con formación de melanoides y pigmentos. Los sabores generados son mezclas entre azúcares y aminoácidos. Durante el horneado del pan los aminoácidos libres se consumen. Los aminoácidos básicos y los que contienen azufre, son los más activos en las reacciones de Maillard (importantes para la producción del color dorado de las costras del pan). Las reacciones de Maillard dan compuestos dicarbonílicos a partir de azúcares y ácido ascórbico. Estos dicarbonilos, especialmente cuando las funciones ceto son separadas por un grupo metileno, catalizan la descarboxilación oxidativa y la desaminación de aminoácidos (degradación de

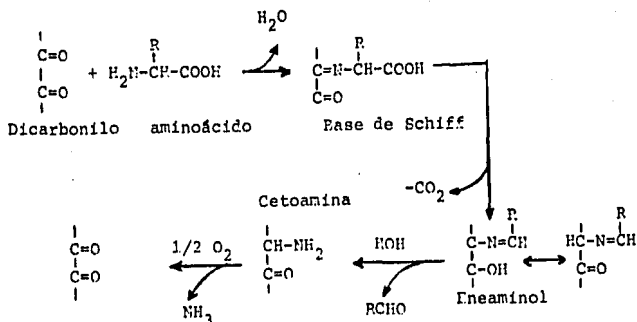
Strecker):



La degradación requiere de la formación de algunas bases de Schiff (piruvaldehído con alanina). (a) La forma enólica tautomérica es un alfa-aminoácido que se descarboxila para producir un eneaminol. (b) Este eneaminol se condensa a sí mismo para dar un polímero café o hidrolizarse en aminoacetona y acetaldehído. (c) La aminoacetona entonces se condensa (d) para dar pirazina por deshidrogenación o se regenera oxidándose y liberando amoníaco dando de nuevo los grupos dicarbonilo.

La pirazina se produce fácilmente durante el horneado del pan. Las cetoaminas precursoras se pueden producir por la degradación de Strecker de la alanina que ocurre abundantemente en la masa. Las pirazinas poseen el sabor de cacahuates tostados.

El mecanismo se muestra a continuación:



Los aminoácidos libres pueden dar aldehídos de sabor característico como se muestra en la tabla # 25.

Tabla # 25. Sabores asociados con los productos generados durante la degradación térmica de aminoácidos con azúcares (68).

Aminoácidos probables	Sabor típico obtenido
Fenil alanina, glicina	Caramelo
Leucina	Sabor tostado de pan
Glicina, cistina	Ahumado, cocido
Alanina	Nuez
Acido alfa-aminobutírico	Noqal
Fenil alanina	Nuez tostada, almendra
Prolina	Pan, galleta, bizcocho
Ornitina	Galleta
Glutamina, lisina	Mantequilla
Arginina	Palomitas de maíz
Metionina	Frijol, caldo
Leucina, arginina, histidina	Pan

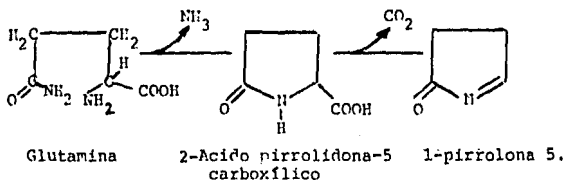
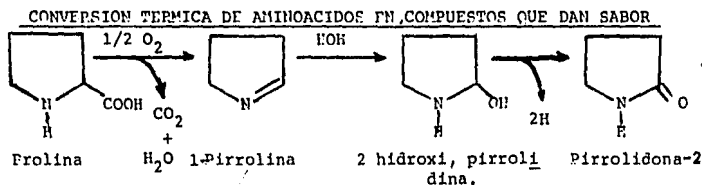
La leucina, isoleucina, valina, alanina y fenilalanina son los aminoácidos que producen mayores cantidades de compuestos con grupos dicarbonilos.

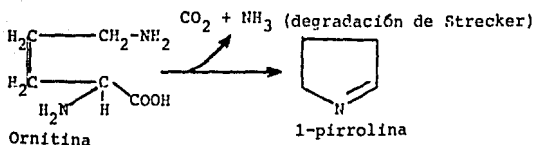
La degradación térmica de otros aminoácidos como: metio-

nina, prolina y glutamina puede dar otro tipo de compuestos únicos:

	FORMULA	NOMBRE
Metionina	$\xrightarrow{\text{DESCOMP. TERMICA}}$	
	$\text{CH}_3\text{-S-(CH}_2)_2\text{-CHO}$	Metional
	H_2S	Acido Sulfhídrico
	$\text{CH}_3\text{-SH}$	Metanotiol
	$(\text{CH}_3)_2\text{-S}$	Sulfuro de dimetilo
	$\text{CH}_3\text{-CH=CH-OH}$	Alcohol propenilico
	$\text{CH}_2=\text{CH-CHO}$	Acroleína
	$\text{CH}_3\text{-CH(NH}_2\text{)-CH}_2\text{COOH}$	Acido beta-amino butírico
	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$	Propional

La degradación oxidativa de la prolina da: pirrolina y pirrolidona.





El CPS en panificación debe funcionar a altas temperaturas, absorber agua durante el calentamiento y no prolongar el tiempo de mezclado (84). Cuando se utiliza a niveles del 5% proporciona calidad y valor nutritivo. A la masa brinda gran estabilidad y se puede utilizar CPS con proteína desnaturada en un máximo del 5% con porcentaje de desnaturación del 80 al 85%.

A un porcentaje superior del 5% la absorción de agua desmejora notablemente porque está relacionada directamente con el nivel de proteína (80). La absorción de agua disminuye cuando el nivel de CPS aumenta en la masa (la masa corresponde a la mezcla de harina de trigo con CPS). De aquí que la disolución de la harina, para la consistencia de la masa, sea importante. La desnaturación también afecta a la absorción de agua y se recomienda un tratamiento térmico intermedio. Al aumentar la desnaturación aumenta la estabilidad y la suavidad de la masa (120).

Cuando el CPS contiene cantidades razonables de aminoácidos libres se aprovecha para producir sabores característicos en la industria de panificación como se muestra en la tabla # 26, la cual nos indica los productos obtenidos por la degrada

ción de Strecker de algunos aminoácidos.

Tabla # 26. Productos obtenidos de la degradación de Strecker de los aminoácidos (68).

AMINOACIDO	PRODUCTO
Glicina	Formaldehido
Alanina	Acetaldehido
Fenil alanina	Fenil acetaldehido
Valina	2 metil propanal
Leucina	Isovaleraldehido
Isoleucina	2 metil butanal
Metionina	Metional
Acido alfa-aminobutírico	Propionaldehido
Prolina	Pirrolina
Ornitina	Pirrolina

El concentrado de chícharo-suero funciona bien también en panificación, ya que da color adecuado a la costra y al migajón brinda suavidad. Tiene el inconveniente de que hace que el pan pierda un poco de volumen (100).

La limitante mayor para utilizar el CPS en esta área es que siempre hay una disminución en el volumen final del pan (104), lo cual se debe tanto al tratamiento térmico del concentrado como a sus componentes iónicos (grupos -SH y fosfato de calcio) (146). El tratamiento térmico provoca solamente un incremento pequeño en la altura durante el horneado. El CPS no afecta a la velocidad de fermentación, pero sí a la estructura física. Por un lado esa estructura puede resistir se un poco a la expansión y por otro puede dar una estructura débil y abierta que se rompe bajo la presión de los gases

en expansión por no ser suficientemente elástica la masa (143). La depresión en el volumen del pan es reversible cuando se le hace un calentamiento anterior al concentrado. Al alcanzar un nivel de desnaturalización los grupos sulfhídrico disminuyen (68, 145).

(13) PASTAS PARA SOPAS.

El CPS además de ser un aditivo, proporciona un mejor y más terso tostado y un sabor mejorado en las pastas para sopas. Proporciona un alto perfil de aminoácidos, principalmente de lisina, más cuando la fuente de proteína es el trigo. Se añade CPS con un 50% de proteína parcialmente desnaturalizada de suero ácido, en un 5% p/p a la harina; si se añade en más del 20% la pasta se vuelve demasiado pegajosa y difícil de secar. De la otra manera mejora el enlazamiento de los ingredientes con el gluten de trigo (134). La desnaturalización favorece dicho enlazamiento. Gracias al CPS durante el cocinado la pasta gana peso debido a la absorción de agua, pierde un poco de dureza, el cocimiento es más parejo, se disminuye la adhesividad y se mejora la elasticidad de la pasta en la que se emplee.

(14) PRODUCTO DE USO DOMESTICO.

El CPS sirve inclusive para las amas de casa si se le mezcla con soya o se le prepara de manera especial para que ellas puedan utilizarlo en sopas, postres, ensaladas, rellenos, hamburguesas, milanesas, malteadas, etc. (5). Por ejem-

plo, se puede añadir una cucharadita en las bebidas consumidas en casa o en las salsas ácidas de tomate que se utilizan en el cocinado diario de sopas, guisos, pizzas, etc. En lugar de añadir puramente agua a los postres como budines en polvo, se puede agregar CPS diluido en agua (una cucharadita por tasa de agua a utilizar); lo mismo en aderezos para ensaladas verdes y del tipo ruso para mejorar el sabor, dar consistencia y a la vez fortificar el alimento (2).

El CPS puede variar hasta tener un 60% de proteína (en la mayoría de los casos es del 27%) y el suero puede ser tanto ácido como dulce. En lugar de utilizar leche en polvo en las recetas domésticas que comunmente lo requieren, se puede emplear para sustituirla, el CPS con soya.

(15) PRODUCTOS CARNICOS PROCESADOS.

En general el CPS se utiliza en cárnicos por sus propiedades gelatinizantes. Es un excelente proveedor de aminoácidos esenciales, particularmente de lisina, la cual se pierde durante el cocinado de los productos cárnicos; mejora el sabor; da una textura fibrosa parecida al músculo de la carne y permite una absorción mucho mejor de agua (144). En general se le incluye en un 3.5% de la formulación del producto (17).

En estos productos el CPS brinda una eficiencia proteica de 3.0 a 3.2, contiene de 18 a 32% de proteína y algo de lactosa, no altera ni el contenido de humedad, ni el contenido de grasa del producto cárnico; pero si aumenta el valor nutri

tivo, se mejora la jugosidad, se evita el encogimiento durante el freído y resalta el sabor (a causa de la lactosa). El CPS también se puede incluir en un 5-10% p/p. La proteína puede estar desnaturalizada, pero presenta el problema de la insolubilidad y de formación de grumos. En cambio, si el CPS está succinilado se evitan esas dos limitantes.

Se añade a la carne de hamburguesa produciendo una mezcla más jugosa, que después de cocinada posee un mejor sabor (78).

Si el CPS se encuentra succinilado se utiliza en un 1% p/p en productos cárnicos procesados por su capacidad emulsificante y por la blándura que otorga. Se emplea en salchichas y tortas de carne ya sea como suplemento o prolongador de la vida de anaquel. Las tortas rinden más al cocinarse, se aumenta su poder de retención de grasa y humedad y también disminuye el encogimiento de la carne a la hora de freirla. En las salchichas aumenta la firmeza; sin embargo, varían en el análisis proximal, hay un poco de pérdida del color y disminución de la capacidad emulsificante (131).

Las limitantes que pueden presentarse al utilizar CPS y CPS succinilado en productos cárnicos son: la disminución del contenido graso si se le añade a niveles superiores del 3.5% (sin embargo, la grasa se retiene más durante el cocinado): La disminución ligera del pH en los productos del tipo emulsión, perdiéndose un poco la estabilidad y aumentando ligeramente la liberación de grasa, esto por otro lado, debido a la concentración salina del producto que afecta a la capacidad

emulsificante ya que el CPS pierde solubilidad. La alta capacidad de absorción de agua, provoca una competencia entre el mismo músculo y el aditivo proteico y se pierde la finalidad emulsificante del mismo. Finalmente hay un poco de pérdida de color debido al blanco de ambos polvos pero fácilmente se soluciona: añadiendo paprika u otros agentes colorantes (131).

(16) QUESOS.

El CPS se emplea en la fabricación de quesos porque ni siquiera la lactosa causa problemas en el momento de utilizarlo (74, 117), además de que se incrementa el rendimiento de un 25 a 35% y se abaten costos (99). La idea que se persigue es que las proteínas del CPS queden atrapadas por la caseína coagulada y estén presentes en el producto final (74), disminuyendo la cantidad de leche a utilizar.

(a) Queso cottage.- Si el CPS se obtuvo por precipitación, se pueden mezclar 1.3 partes con una parte de leche descremada, NaCl y goma xantánica para utilizarlo como aderezo para la cuajada con la que se obtiene el queso cottage, resultando un queso con un contenido de proteína mayor (32). Después de que se mezcla el CPS y la leche, se da un calentamiento a 60°C y se agita a baja velocidad, mientras se añade la sal y la goma. El aderezo se agita de nuevo 10 segundos a velocidad moderada y una parte de la cuajada se mezcla con 0.35 o 0.40 partes del aderezo. Además de incrementar la proteína, aumenta el rendimiento del producto por unidad de leche descremada y se retienen mayores cantidades de los nutrien

tes presentes en la leche (32).

(b) Queso ricotta.- El queso ricotta se obtiene a partir de CPS proveniente del suero de otros quesos. Es un queso que se utiliza mucho en comida italiana y que posee sabor ligero, cuerpo suave y textura granular. Por esta última cualidad el mismo queso se usa sustituyendo del 30 al 50% de sólidos en ciertos dulces típicos dando una elasticidad inmejorable.

Para obtener el queso, el CPS se mezcla con leche descremada y calcio presentando un perfil sensorial excelente (108).

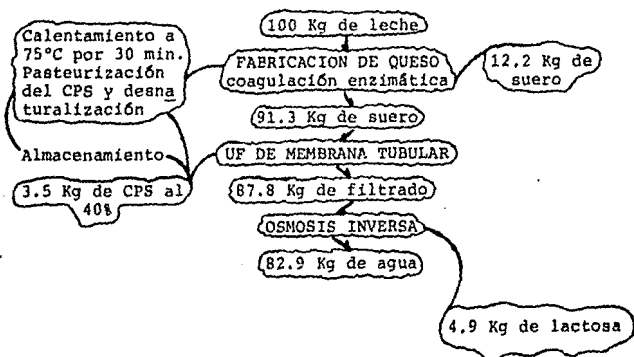
(c) Queso cheddar.- Se utiliza CPS con 40% de proteína desnaturalizada parcialmente, se añade a la leche con la que se va a fabricar el queso en niveles limitados. El concentrado reduce el volumen de materia prima a emplear y da mayores rendimientos (hasta de un 12%) (99). Con la desnaturalización parcial se logra que la proteína del concentrado que de atrapada en la cuajada del queso a fabricar (22), además mantiene la humedad constante y mejora el sabor y la textura del mismo. El tiempo de fraguado es menor y el desarrollo de la acidez más acelerado. El proceso se esquematiza en la figura # 20. Se logra reemplazar de un 30 a 40% del queso.

(d) Quesos procesados.- En estos quesos el CPS contiene de 34 a 50% de proteína (3) ya que son considerados quesos fuertes. En estos casos el CPS se mezcla con la leche en polvo a utilizar en su fabricación (99), y dependiendo del queso los diferentes niveles de calcio requeridos.

Para este tipo de quesos conviene que el CPS sea de su

ro ácido porque ayuda a la adhesividad de los conglomerados de proteína, deseables para este tipo de productos. En lugar de utilizar agua para reconstituir la leche a emplear en su fabricación, se usa CPS reconstituido con agua (117) y se añade en un 54% V/V del total de la mezcla leche-CPS.

Figura # 20. Fabricación de queso cheddar suplementado con concentrado de proteína (22).



Al emplear CPS en estos quesos se retarda un poco la acción de la renina en el momento de formación de la cuajada, pero presenta cierto nivel de concentración salina, la firmeza de la cuajada no se modifica y se recuperan mayores cantidades de proteína, deseables para la posterior proteólisis típica de estos quesos. El sabor obtenido es completamente satisfactorio e inclusive se puede decir que se encuentra mejorado; se disminuyen costos y se acelera la maduración del queso y el cuerpo y la textura del queso no se alteran (108).

También el CPS con proteína desnaturalizada se puede mezclar con harina de soya y glucono-delta-lactona para dar un queso con aroma y textura aceptables. También se obtienen mayores rendimientos y contenido nutritivo alto en proteínas con una composición de aminoácidos prometedora (104).

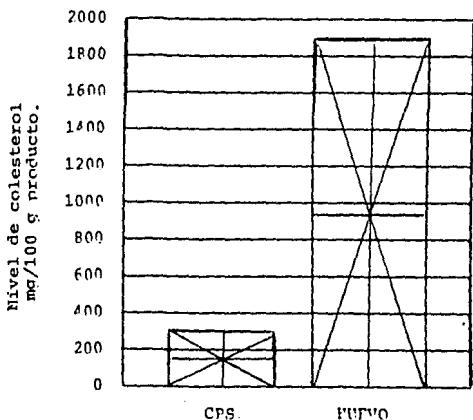
(17) SUSTITUTO DE HUEVO.

En términos puramente económicos, ésta es la aplicación más deseable del CPS. Se añade a productos de pastelería proporcionando suavidad y evitando la granulosidad. Cuando el CPS no está suficientemente puro no puede reemplazar la albúmina de huevo (138). El CPS es 99% digerible y además presenta la ventaja de que está libre de lípidos. De esta manera también mejora los sabores, resaltándolos al no poseer uno propio (48). Presenta propiedades gelatinizantes parecidas a las del huevo (37).

El CPS es importante en este sentido porque reduce el colesterol como se puede ver en la figura # 21. Por lo tanto, el concentrado puede usarse en aderezos para ensalada donde no se quiere la presencia de colesterol. Proporciona excelente capacidad emulsificante (107) en costras de huevo, mayonesa, tortillas de huevo, merengues, soufflés, etc.

Cuando el CPS se encuentra hidrolizado sustituye a la proteína del huevo en un 30% en productos horneados dando un mejor color (110) y cuando se le encuentra desmineralizado, la sustitución es de lo mejor (37).

Figura # 21. Niveles típicos de colesterol en CPS y huevo (6).



(18) SUSTITUTO DE LECHE DESCREMADA.

Quando el CPS se desmineraliza y se mezcla con caseinato de calcio (48) o harina de soya (10), o cuando se hidroliza (3) puede usarse como sustituto de leche descremada en polvo para aminorar costos y presentar más versatilidad de utilización. La puede sustituir en un 50% en postres congelados por ejemplo, dando una vida de anaquel y una textura adecuadas (27) y lo mismo sirve en helados al aplicarlo hasta en un 35% (13). Se le puede mezclar directamente con agua fría y emplearse en bebidas y sopas frías o formar parte de la formulación de los chocolates en polvo para bebidas cuan

do posee 65% de proteína (10).

En este caso el CPS (en la mayoría de los casos) es proveniente de suero dulce e inclusive sustituye caseinatos en alimentos para bebés, quesos procesados, helados de crema y productos de panificación.

Para que sirva como sustituto de leche descremada en polvo para café, el CPS se succinila aumentando el contenido de proteína y sirviendo con su capacidad emulsificante (130).

Actualmente se busca desarrollar productos proteicos que sustituyan a los caseinatos y sistemas proteicos que reemplacen la leche descremada en polvo (5).

(19) TORTILLAS.

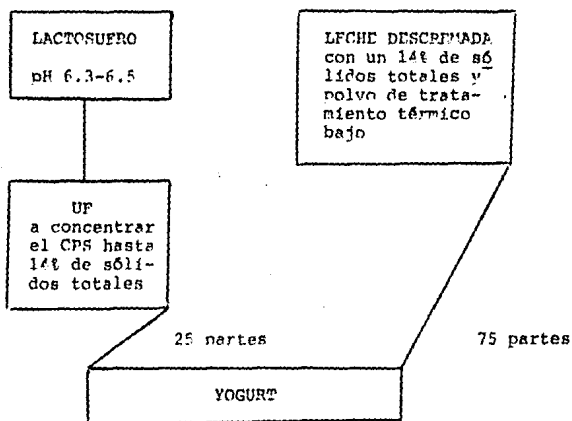
El CPS se puede incorporar a la masa de tortilla, teniendo de un 65 a 75% de harina de maíz y de un 25 a 35% de CPS proveniente de suero dulce. La tortilla suplementada muestra un enriquecimiento de triptófano, lo cual evita la deficiencia que la tortilla tiene en este aminoácido. El PER de la tortilla se duplica y aumenta su valor tanto, que iguala al de la caseína. El sabor de la tortilla no se modifica (109).

(20) YOGURT.

Al incluir CPS de suero ácido en la fabricación de yogurt (leche fermentada y acidificada por la acción de la incubación de ciertos microorganismos) se obtiene una firmeza estructural y una viscosidad del producto únicas. Aumenta el

contenido de proteína fortificándolo (31). Hay una disminución de costos porque compete definitivamente con la leche descremada en polvo. En este caso hay que evitar que la proteína se caliente demasiado porque los cambios estructurales sufridos por la proteína cuando se desnaturaliza, impiden mantener la firmeza de la cuajada del yogurt (72, 145). El procedimiento se puede ver en la figura # 22.

Figura # 22. Procedimiento para incorporar CPS en la fabricación de yogurt (20).



Como cepa se puede utilizar Lactobacillus acidophilus, Streptococcus thermophilus o Lactobacillus helveticus, siendo el sustrato el CPS (12-30% p/p con 80% de proteína) y mezclándolo con la leche a utilizar para obtener el medio de cultivo de la fermentación (85). El crecimiento de microorganismos se estimula y acelera con la presencia de estas proteínas.

El incremento de sólidos proporcionado por el CPS permite que la leche a utilizar tenga menos sólidos que los normales (29). La cooperación de las proteínas del suero para coagular y formar complejos con otras proteínas cuando sus soluciones se calientan y la cantidad presente es importante para no perjudicar el sabor, el aroma y la textura del yogurt (85). El CPS ayuda a reducir los tiempos de procesamiento y los requerimientos del cultivo madre, permite una mayor estabilización del pH en las etapas finales de su fabricación y aumenta la vida de anaquel (3). El yogurt de esta manera acepta la adición de sabores frutales (20).

Cuando el CPS está hidrolizado, suple en una proporción de 1:1 a la leche descremada en polvo durante la fabricación del yogurt y provee niveles menores de lactosa. Proporciona los requerimientos de glucosa que permiten que la cepa tenga un mayor y mejor crecimiento.

Si el CPS se incluye en mayores porcentajes de los debidos en el yogurt, se produce un sabor desagradable y una consistencia granulosa en el producto final.

Finalmente, el CPS se emplea para enriquecer alimentos especiales, unir ingredientes de determinado alimento, para capear alimentos frías y para glasearlos y adornarlos (55).

VII DISCUSION Y CONCLUSIONES.

El lactosuero representa una oportunidad para poder desarrollar nuevos alimentos; sin embargo, hay quienes piensan que se trata de un mero desperdicio. En cualquiera de los dos casos, las necesidades actuales implican buscarle un uso, ya que desecharlo es un problema independientemente de que sí sea un desperdicio. Las regulaciones contra la contaminación simplemente nos obligan a su utilización. El CPS es un alimento valioso obtenido a partir de lactosuero con grandes posibilidades de ser aceptado por fabricantes y consumidores de alimentos.

Actualmente se hace necesaria la constante búsqueda de técnicas que produzcan bienes y no meros desperdicios. La recuperación de proteína del suero trae consigo el problema de eliminación de la lactosa y minerales sobrantes de la materia prima. Por esto la fabricación del CPS normalmente debe de ser precedida por una operación que sirva para recuperar lactosa en forma útil, si no el problema de la contaminación no se aligera y se pierde el sentido del éxito comercial que la obtención de proteína promete.

Para que en México funcionara la industrialización del CPS, sería necesario construir infraestructura, centralizar el procesamiento del suero (localización y geografía), implementar la legislación adecuada, considerar costos de depósito de desperdicios y buscar de manera continua nuevos usos y formas de comercializarlo en base a una tecnología que re-

presente una disminución de costos con altos rendimientos de producción.

Sabemos que hasta 1987, no ha habido importación de CPS, si se lograra implantar su industrialización, también se podría exportar en años posteriores.

Si consideramos a México un país con tecnología poco avanzada en ciertas áreas, el CPS representaría un producto de bajo costo (dependiendo del método de obtención) y alto valor nutritivo, además de saber que se le puede incluir en una variedad de presentaciones bastante amplia. La tecnología para obtenerlo es adaptable con facilidad a otro tipo de industrias lácteas y otro tipo de desperdicios y subproductos de diferentes áreas de la industria alimentaria.

El no procesar el lactosuero implica una pérdida anual de toneladas de proteína que pueden ser empleadas; con más razón en países donde la desnutrición alcanza niveles elevados.

Para tener éxito en la producción de CPS es importante considerar el rendimiento de la proteína real del suero, ya que si no se prevee, pueden existir consecuencias económicas serias. Hay que conocer la calidad microbiológica del mismo, así como su condición física (presencia de materia insoluble y grasa), para poder determinar el tipo de tratamiento a seguir. El manejo de la materia prima es un paso clave en la operación, hay que tener precaución y evitar los daños por calentamiento. En la mayoría de los casos el CPS es un producto viscoso con alto contenido proteico y por lo tanto hay

que aminorar en la medida que se pueda la desnaturalización.

Ya que las técnicas de membrana y el intercambio iónico son una realidad comercial, la industria láctea tiene posibilidades de modificar la composición y materiales básicos del CPS antes de someterlo al secado por aspersión y darle así una mayor versatilidad. En comparación con la ultrafiltración y la ósmosis inversa, el método de obtención de la proteína por precipitación no requiere de equipo complejo, ni caro y podría utilizarse en un inicio en plantas pequeñas con suero ácido. las cuales no procesan lactosuero en grandes cantidades y que si tienen que pagar multa por desaguarlo. En México se puede comenzar con este proyecto con el proceso de obtención de precipitación. Es el más aplicable y el más adaptable por este momento a las condiciones del país. Es una forma simple de lograrlo con posibilidades de poder nutrir a la población. El escoger un determinado proceso de obtención de CPS no sólo depende de la economía, sino también de las propiedades que se deseen obtener.

Hay que conocer los cambios significativos en la química y fisicoquímica de los constituyentes del CPS durante el procesamiento. La unidad de operación que se utiliza para fabricarlo afecta a la composición de la proteína y a la desnaturalización; las cuales a su vez están relacionadas con las propiedades funcionales. Por lo tanto, la técnica por si misma es probable que no sea tan importante como lo son las condiciones seleccionadas para llevar a cabo el proceso.

La selección del tipo de CPS a fabricar debe hacerse en

base a lo que la industria alimentaria en México esté dispuesta a comprar, además de que el fabricante o tecnólogo en alimentos debe estar preparado para comunicar a los grupos de desarrollo de nuevos productos la manera en que ellos pueden aprovechar las oportunidades y características reológicas potenciales que brinda el CPS y trabajar al mismo tiempo con el usuario para desarrollar aplicaciones específicas con una finalidad determinada aparte de las ya conocidas. Se puede trabajar haciendo reformulaciones de los alimentos o fraccionar y modificar los sólidos del CPS para diversificar las propiedades funcionales; sabiendo de antemano que a veces las nuevas formulaciones pueden arriesgar un producto que ya se encuentra a la venta y con éxito en el mercado.

Los factores determinantes para poder implantar la industrialización del lactosuero en CPS son: la posibilidad de venderlo en un 100% (determinado por factores mercantiles), la posibilidad de ofrecerlo a un precio adecuado (determinado por la calidad del producto y "herramientas" de venta), la capacidad del proceso para operar a tiempos muertos mínimos (y así evitar pérdidas del producto) y la selección del equipo de proceso adecuada (aumentando al máximo el rendimiento).

Los factores importantes para seleccionar el equipo de procesamiento se encuentran en función de: la capacidad de producción de un CPS con alta calidad, flexibilidad para poder fabricar CPS con diferente composición, adaptación a los cambios y a los patrones de demanda en el mercado, calidad en el soporte técnico del vendedor para poder resolver los pro-

blemas de operación, costo mínimo en la instalación y ya instalada la planta, elementos de operación que impliquen el menor gasto, sobretodo en los sistemas de membrana y en los insumos requeridos. Finalmente se necesita capacidad de operación a una alimentación y flujo constantes, tener las corridas en los tiempos previstos y deseados para por otro lado simplificar todo lo más posible.

Día con día el mercado lácteo se expande más y los productos obtenidos a partir de CPS combinado con el alza de precios y costos, muestra la necesidad de su utilización. En la actualidad se ha publicado mucho sobre el lactosuero y sus derivados, lo cual demuestra que con el tiempo adquiere mayor interés y propicia la búsqueda de métodos prácticos que ayuden al manejo de "desperdicios". En México se desperdicia el suero de manera alarmante y las presiones económicas llevan definitivamente a la conclusión de que hay que utilizarlo en toda su capacidad, explotando todas las áreas de uso. Claro que hay ciertos problemas, que con entusiasmo, deseo, capacitación y apoyo de ciertos sectores de la población se podrían resolver. Es responsabilidad de la industria láctea hacer algo para resolver este problema y es por eso que este trabajo brinda algunas opciones para hacerlo. Es necesario comenzar con la etapa experimental, abriendo de alguna forma las puertas hacia la existencia de un producto prometedor.

El camino más accesible de introducir el CPS en la alimentación de la nación sería en un alimento popular como la tortilla o el bolillo, donde las características originales

no se alteran y sin embargo, si se mejora la calidad nutricional; más aún sabiendo de antemano que el CPS es ya un producto aceptado por organismos como la FAO Y la FDA que impulsan a seguir con este tipo de investigaciones.

México debe de mejorar aunque sea poco a poco en todas las ramas industriales, pero mucho más en la alimentaria. Por algo se empieza y qué mejor que convirtiendo un desperdicio en un alimento nutritivo. Se sabe que la clase socioeconómica baja del país carece de proteína en su alimentación y el CPS podría ser la solución a esta deficiencia.

Este trabajo a pesar de ser puramente bibliográfico propicia la apertura hacia nuevas metas, tecnologías, experimentaciones y estudios. Hay que complementarlo con la parte experimental y llevarlo hasta el nivel de planta piloto, realizar el estudio de mercado de manera cercana al fabricante y al consumidor y hacer el análisis económico real considerando las posibilidades del país.

VIII BIBLIOGRAFIA.

1. Ahmed, N., Ismail, A.: Enrichment of zabadi with whey proteins. *J Dairy Res*, 45:119-121; 1978.

2. Andres, C.: Cold-water-dispersible, high protein ingredients for acid foods. *Food Processing*, 43(5):54; 1982.

3. Andres, C.: Expanded line of whey protein concentrate ingredients includes products with: hydrolyzed lactose, unique functionalities and drink mixes. *Food Processing*, 43(12):70; 1982.

4. Andres, C.: Ingredient substitutions-not a simple procedure. *Food Processing*, 43(12):58-59; 1982.

5. Andres, C.: Soy isolate successfully replaces caseinate and/or NFDM in cakes. *Food Processing*, 41(5):70-71; 1980.

6. Andres, C.: Three new protein types introduced. *Food Processing*, 43(6):74-76; 1982.

7. Andres, C.: Whey protein line expanded by addition of functional blends. *Food Processing*, 44(1):68; 1983.

8. Alais, Ch.: *Ciencia de la leche*. Ed CECSA, México, 1981.

9. Allen, J., Wrieden, W.: Influence of milk proteins on lipid oxidation in aqueous emulsion. I Casein, whey protein and alpha-lactalbumin. *J. Dairy Res*, 49(2):239-248; 1982.

10. Anon.: Dairy/non dairy blends. *Food Engineering*, 52(8):110-116; 1980.

11. Anon.: Kroger joins forces with Corning Glass. *Food Engineering*, 53(12):95; 1981.

12. Anon.: Single process for milk proteinate isolates ca

sein and whey proteins. Food Development, 15(6):41-43; 1981.

13. Anon.: Special membrane cartridge provides efficient automated whey processing. Food Engineering, 54(1):67-72; 1982.

14. Anon.: Surprises in whey: the new potential of whey. Food Manufacture, 55(7):31; 1980.

15. Anon.: \$25 million whey processing plant. Food Engineering, 53(11):66-68; 1981.

16. Anon.: Whey: Efi's quality message. Food Processing Industry, 50(600):51-53; 1981.

17. Anon.: Whey: New ideas for use in foods. Food Engineering, 55(8):136; 1983.

18. Anon.: Whey Processing returns to Vermont as Express Foods reopens Georgia plant. Dairy Field, 164(8):88-95; 1981.

19. Argyle, J., Jones, N., Chandan, R., Gordon, J.: Aggregation of whey proteins during storage of acidified milk. J Dairy Res, 43:45-51; 1976.

20. Broome, M., Willman, N., Roginski, H., Hickey, M.: The use of cheese whey protein concentrate in the manufacture of skim milk yoghurt. Australian J Dairy Tech, 37(4):139-142; 1982.

21. Brothersen, C., Olson, N., Richardson, T.: Recovery of calcium phosphate from ultrafiltration permeates. J Dairy Sci, 65(1):17-23; 1982.

22. Brown, R., Ernstron, A.: Incorporation of ultrafiltration concentrated whey solids into cheddar-cheese for increased yield. J Dairy Sci, 65(12):2392-2395; 1982.

23. Brunner, R.: Cow milk proteins: twenty five years of progress. *J Dairy Sci*, 64:1038-1054; 1981.
24. Cerbulis, J.: Precipitation of proteins from whey with bentonite and lignosulfonate. *J Agric Food Chem*, 26(4):805-809; 1978.
25. Cuddy, M., Zall, R.: Performance of lipid-dried acid whey in extruded and baked products. *Food Tech*, 36(1):54-59; 1982.
26. Daemen, A.: The destruction of enzymes and bacteria during the spray-drying of milk and whey. I The thermoresistance of some enzymes and bacteria in milk and whey with various total solids contents. *Netherlands Milk Dairy J*, 35(2):133-144; 1981.
27. Dahlqvist, N., Asp, N., Burvall, H., Rausing, H.: Hydrolysis of lactose in milk and whey with minute amounts of lactase. *J Dairy Res*, 44:541-548; 1977.
28. Davies, D.: The quantitative partition on the albumin fraction of milk serum proteins by gel chromatography. *J Dairy Res*, 41:217-118; 1974.
29. Davies, T., Law, A.: Variation in the protein composition of bovine casein micelles and serum casein in relation to micellar size and milk temperature. *J Dairy Res*, 50(1):67-75; 1983.
30. Dayal, R., Hurlimann, J.: Chemical and immunochemical characterization caseins and the major whey proteins of rabbit milk. *Biochemical J, Molecular Aspects*, 20(1):71-79; 1982.
31. Demott, B., Draughon, F., Herald, P.: Fermentation of

- lactose in direct-acid-set cottage cheese whey. *J Food Protection*, 44(8):588-590; 1981.
32. Demott, B., Sanders, O.: Whey protein use in cottage cheese dressing. *J Food Protection*, 43(10):752,755; 1980.
33. Di Gregorio, F., Sisto, R.: Use of a pH stat to indicate the end point in titration of calcium plus magnesium in milk and whey. *J Dairy Res*, 47:417-419; 1980.
34. Douglas, F., Greenberg, R., Farrell, H., Edmondson, F.: Effects of ultra-high temperature pasteurization on milk proteins. *J Agric Food Chem*, 29(1):11-15; 1981.
35. Douglas, F., Rainey, R., Wong, N., Edmondson, L., La Croix, D.: Color, flavour and iron bioavailability in iron-fortified chocolate milk. *J Dairy Sci*, 64(9):1785-1793; 1981.
36. Douglas, F., Tobias, J., Groves, M., Farrell, H., Edmondson, L.: Quantitative determination of total protein, casein and whey protein of processed dairy products. *J Dairy Sci*, 65(3):339-345; 1982.
37. Dunkerley, J., Hayes, J.: Characterization of whey protein gels using a temperature gradient block. *New Zealand J Dairy Sci Tech*, 15(2):191-196; 1980.
38. Dunkerley, J., Zadow, J.: Rheological studies on heat-induced coagula from whey protein concentrates. *New Zealand J Dairy Sci Tech*, 16(3):265-272; 1981.
39. Ennis, B., Higgins, J.: Demineralization of deproteinated sweet whey. An economic study. *New Zealand J Dairy Sci Tech*, 17(1):27-34; 1982.
40. Ennis, B., Higgins, J.: The effect of the replacement

of calcium with sodium on the demineralization of deproteinated acid whey by electro dialysis. *New Zealand J Dairy Sci Tech*, 16(2):167-178; 1981.

41. Express Foods Company.: Acid stable whey protein concentrate (80%) has wide nutritional fortification implications. *Food Processing*, 42(11):36-38; 1981.

42. Fisher, L.: The consumption of acid whey by lactating cows. *Canadian J Animal Sci*, 61(1):209-211; 1981.

43. Giec, A., Kosikowski, F.: Low temperature lactose hydrolysis of concentrated whey permeates. *J Dairy Sci*, 66(3): 396-399; 1983.

44. Goldsmith, R.: Ultrafiltration production of whey protein concentrates. *Dairy Field*, 164(8):88-95; 1981.

45. Gordon, J.: Trends and developments. *Milk Industry*, 82(2):16-20; 1980.

46. Graham, D., Hutton, J., McIntire, J.: Concentrated and dry milk and wheys in the third quarter of the 20th century. *J Dairy Sci*, 64:1055-1062; 1981.

47. Groenewold, J.: Dairy wastes. *J Water Pollution Control Federation*, 53(6):795-797; 1981.

48. Hannigan, K.: "Super-protein" from acid whey. *Food Engineering*, 54(3):96-97; 1982.

49. Harper, J.: Advances in chemistry of milk. *J Dairy Sci*, 64:1028-1037; 1981.

50. Harper, W., Peltonen, R.: Model food systems yield cleaner utility evaluations of whey protein. *Food Product Development*, 14(10):52-56; 1980.

51. Hill, R., Zadow, J.: Recovery of whey proteins from precipitated complexes of carboxymethyl cellulose and protein. *J Dairy Res*, 45:77-83; 1978.

52. Hill, R., Zadow, J.: The precipitation of whey proteins by carboxymethyl cellulose of differing degrees of substitution. *J Dairy Res*, 41:373-380; 1974.

53. Hillier, R.: The quantitative measurement of whey proteins using polyacrilamide-gel electrophoresis. *J Dairy Res*, 43:259-265; 1976.

54. Hillier, R., Cheeseman, G.: Effect of proteose-peptone on the heat gelation of whey protein isolates. *J Dairy Res*, 46:113-120; 1979.

55. Hillier, R., Lyster, L.: Whey protein denaturation in heated milk and cheese whey. *J Dairy Res*, 46:95-102; 1979.

56. Hillier, R., Lyster, L., Cheeseman, G.: Gelation of reconstituted whey powders by heat. *J Sci Food Agric*, 31:1152-1156; 1981.

57. Hillier, R., Lyster, L., Cheeseman, G.: Thermal denaturation of alpha-lactalbumin and beta-lactoglobulin in cheese whey: effect of total solids concentration and pH. *J Dairy Res*, 46:103-111; 1978.

58. Holsinger, V.: Lactose-modified milk and whey. *Food Tech*, 32(3):35-40; 1978.

59. Holsinger, V., Posati, L., De Vilbiss, E.: Whey beverages: a review. *J Dairy Sci*, 57(8):849-859; 1974.

60. Jelen, P.: Industrial whey processing technology: an overview. *J Agric Food Chem*, 27(4):658-661; 1979.

61. Jelen, P.: Reprocessing of whey and other dairy wastes for use as food ingredients. *Food Tech*, 37(2):81-84; 1983.
62. Kapoor, C., Gupta, S.: Nutritional evaluation of NDRI soy-whey weaning food. *J Food Sci Tech, India*, 18(2):67-69; 1981.
63. Kapoor, C., Gupta, S.: Soy-whey weaning food. I Method of manufacture. *J Food Sci Tech, India*, 18(2):55-58; 1981.
64. Kapoor, C., Gupta, S.: Soy-whey weaning food. II Storage studies. *J Food Sci Tech, India*, 18(2):58-61; 1981.
65. Keyes, C., Hegarty, P.: Effect of differential heat treatments on the protein quality of casein and lactalbumin. *J Agric Food Chem*, 27(6):1405-1407; 1979.
66. Khandelwal, O., Gupta, N.: Thermal denaturation of goat milk whey proteins. *Indian J Dairy Sci*, 33(1):13-16; 1980.
67. Kim, M., Saltmarch, M., Labuza, T.: Non-enzymatic browning of hygroscopic whey powders in open versus sealed pouches. *J Food Processing Preservation*, 5:49-57; 1981.
68. Kinsella, J.: The chemistry of dairy powders with reference to baking. *Adv Food Res*, 19:147-208; 1971.
69. Kohlwey, D., Cheryan, M.: Performance of beta-D-galactosidase hollow fibre reactor. *Enzyme Microbial Tech*, 3(1):64-68; 1981.
70. Kosaric, N., Asher, Y.: Cheese whey and its utilization. *Conservation and Recycling*, 5(1):23-32; 1982.
71. Kosaric, N., Miyata, N.: Growth of morel mushroom mycelium in cheese whey. *J Dairy Res*, 48:149-162; 1981.
72. Labropoulos, A., Palmer, J., López, A.: Whey protein

denaturation of UHT processed milk and its effect on rheology of yogurt. *J Texture Studies*, 12(3):365-374; 1981.

73. Labuza, T., Saltmarch, M.: Kinetics of browning and protein quality loss in whey powders during steady state and non-steady state storage conditions. *J Food Sci*, 47(1):92-96; 1982.

74. Lang, F.: Quarg-a popular fresh cheese of considerable potential. *Milk Industr.* 82(11):21-23; 1980.

75. Lang, F.: Whey-potential source of energy. *Milk Industry*, 82(2):30-31; 1980.

76. Law, A., Reiter, B.: The isolation and bacteriostatic properties of lactoferrin from bovine milk whey. *J Dairy Res*, 44:595-599; 1977.

77. Lazaridis, H.: Enzymatic control of rheological properties in direct acidified cheese products. *Dissertation Abstracts International B*, 41(3):878; 1980.

78. Lee, A., Cannon, P., Huffman, D.: Whey protein concentrates in a processed meat loaf. *J Food Sci*, 45(5):1278,1304; 1980.

79. Lehninger, A.: *Biochemistry*. Worth Publishers Inc., 2nd edition, New York; 1978.

80. Li-Chan, E.: Heat induced changes in the proteins of whey protein concentrate. *J Food Sci*, 48(1):47-56; 1983.

81. Look, J.: Milk in candy formulation. *Candy & Snack Industry*, 26(9):60-62; 1977.

82. Lynch, P., Mc Donough, E.: USDA research on whey and whey products as feed for cattle. *J Agric Food Chem*, 27(4):695-698; 1979.

83. Mahmoud, M.: Ultrafiltration in the manufacture of soft pickled cheese and production of alcohol and single cell protein from whey. Dissertation Abstracts International B, 41(3): 878; 1980.

84. Marghani, D., Bashir, M.: Production of soy-whey protein coprecipitate with good nutritional and flavor qualities. Dissertation Abstracts International B, 43(5):1417; 1982.

85. Marshall, V., Cole, W., Vega, R.: A yoghurt-like product made by fermenting ultrafiltered milk containing elevated whey proteins with *Lactobacillus acidophilus*. J Dairy Res, 49(4):665-670; 1982.

86. Mathews, M.: Whey proteins recuperation process and products. J of Dairy Sci, 67(11):2680-2691; 1984.

87. Mathur, B., Patel, J., Sarma, S.: Application of ultrafiltration for deproteinization of whey for lactose production. Indian J Sci, 34(2):231-232; 1981.

88. Merin, U., Cheryan, M.: Factors affecting the mechanism of flux decline during ultrafiltration of cottage cheese whey. J Food Processing Preservation, 4:183-197; 1980.

89. Merin, U., Gordin, S.: Microfiltration of sweet cheese whey. New Zealand J Dairy Sci Tech, 18(2):153-160; 1983.

90. Mohler, M., Hugunin, A., Ebers, K.: Whey-based nonfat milk replacers in light-chocolate-flavored compound coatings. Food Tech, 35(6):79-81; 1981.

91. Molina, E.: Suero y alimentos de suero, producción e industrialización. Industria Alimentaria, 6(1):5-14; 1984.

92. Moreyra, R.: Fundamentos y aplicaciones de propiedades

físicas de alimentos en polvo. *Tecnología de Alimentos*, 17(3): 4-12; 1982.

93. Morris, Ch.: New developments in whey processing. *Food Engineering*, 54(1):67-72; 1982.

94. Morris, Ch.: Recovers whey proteins of 90% purity. *Food Engineering*, 53(4):92-95; 1981.

95. Muller, M., Harper, W.: Effects on membrane processing of pretreatments of whey. *J Agric Food Chem*, 27(4):662-664; 1979.

96. Nichols, D., Cheryan, M.: Dairy and vegetable blends by co-extraction and co-ultrafiltration. *J Food Sci*, 47(2):486-490; 1979.

97. Nickerson, T.: Lactose chemistry. *J Agric Food Chem*, 27(4):672-677; 1979.

98. Nickerson, T.: Why use lactose and its derivatives in food. *Food Tech*, 32(1):40-46; 1978.

99. Olson, N.: Ultrafiltration of cheese milk: taking a second look. *Dairy Field*, 164(11):133-134; 1981.

100. Patel, P., Youngs, C., Grant, D.: Preparation and properties of spray-dried pea protein concentrate-cheese whey blends. *Cereal Chem*, 58(4):249-255; 1981.

101. Patil, G., Gupta, S.: Cost of soy-whey beverage, a case study. *Indian Food Packer*, 37(2):84-90; 1983.

102. Pearce, R., Shanley, R.: Analytical and preparative separation of whey proteins by chromatofocusing. *Australian J Dairy Tech*, 36(3):110-114; 1981.

103. Peltonen, R.: Characterization of whey protein concentrates with regard to factors that affect their function at in-

terfaces. Dissertation Abstracts International B, 43(8):2491; 1983.

104. Peng, C.: Ohio curd. J American Oil Chemists Soc, 58(7):601 A; 1981.

105. Pepper, D.: Reverse osmosis using multi-stage recycle designs. Australian J Dairy Tech, 36(3):120-122; 1981.

106. Peterson, A., Walker, W., Watson, K.: Effect of whey applications on chemical properties of soils and crops. J Agric Food Chem, 27(4):654-658; 1979.

107. Piletz, J., Heinlen, M., Ganschow, R.: Biochemical characterization of a novel whey protein from murine milk. J Biological Chem, 256(22):11509-11516; 1981.

108. Prajapati, P., Mathur, B.: Manufacture of ricotta cheese from different whey systems and its utilization for indian varieties of sweets. Indian J Dairy Sci, 34(2):140-147; 1981.

109. Racotta, V., Bourges, H., Navarrete, A., Zuckermann, J.: Use of whey proteins for supplementing tortilla. J Agric Food Chem, 27(4):668-771; 1979.

110. Rheinlander: Uses for whey powder. Food Engineering International, 7(1/2):55-56; 1982.

111. Richert, S.: Physical-chemical properties of whey protein foams. J Agric Food Chem, 27(4):665-668; 1979.

112. Robichaux, W., Ellis, R.: Ultrafiltration plant recovers 35% protein concentrate from whey. Food Processing, 43(1): 102-103; 1982.

113. Robinson, D.: Making the most of whey. Food Manufactu-

re, 54(7):19,21; 1979.

114. Robinson, R.: The dissection of milk-its relevance to the food industry. Dairy Industries International, 47(12):19-23; 1982.

115. Ruegg, M., Moor, U., Blanc, B.: A calorimetric study of the thermal denaturation of whey proteins in simulated milk ultrafiltrate. J Dairy Res, 44:509-520; 1977.

116. Russell, C., Matthews, M., Gray, I.: A comparison of methods for the extraction of the fat from soluble whey protein concentrate powders. New Zealand J Dairy Sci Tech, 15(3):239-244; 1980.

117. Safty, M., Ellen, A., Fahmy, M.: Use of salted whey to reconstitute dried milk for manufacturing white soft cheese. I Character of the curd. J Food Protection, 44(9):652-654; 1981.

118. Salah, M.: Production of fungal enzymes and proteins from high salt cheese wheys. J Sci Food Agric, 32(11):1109-1114; 1981.

119. Saltmarch, M.: The influence of temperature, water activity, and physico-chemical state of lactose on the kinetics of the Maillard reaction in spray-dried whey powders stored under steady state and non-steady state storage conditions. Dissertation Abstracts International B, 41(3):879; 1980.

120. Sánchez, H., de la Torre, M., Osella, C., Mancuello, J., Fabre, H.: Whey protein concentrates in baking. Bakers Digest, 58(3):18-20; 1984.

121. Sandhu, D., Waraich, M.: Conversion of cheese whey to single-cell protein. Biotechnology and bioengineering, 25(3):

797-808; 1983.

122. Schmidt, R., Illingworth, B., Deng, J., Cornell, J.: Multiple regression and response surface analysis of the effects of calcium chloride and cysteine on heat-induced whey protein gelation. *J Agric Food Chem*, 27(3):529-532; 1979.

123. Schlottfeldt, G.: Potential for anaerobic treatment of whey. *Dissertation Abstracts International B*, 41(3):879-880; 1980.

124. Sen, N., Lee, Y.: Determination of nitrate and nitrite in whey powder. *J Agric Food Chem*, 27(6):1277-1279; 1979.

125. Shimizu, M., Kamiya, T., Yamauchi, K.: The adsorption of whey proteins on the surface of emulsified fat. *Agric Biol Chem*, 45(11):2491-2496; 1981.

126. Siu, M., Thompson, L.: Effect of succinylation on the protein quality and urinary excretion of bound and free aminoacids. *J Agric Food Chem*, 30(6):1179-1183; 1982.

127. Siu, M., Thompson, L.: In vitro and in vivo digestibilities of succinylated cheese whey protein concentrates. *J Agric Food Chem*, 30(4):743-747; 1982.

128. Sood, S., Dewan, R.: Voluminosity of casein micelles in heated milk and soluble-protein free milk from buffalo and the cow. *Indian J Dairy Sci*, 35(1):44-51; 1982.

129. Splinder, J., Yates, E., Havighorst, C.: Continuous cheese whey processing. *Food Engineering*, 53(9):73-77; 1981.

130. Thompson, L., Baker, L.: Influence of succinylated whey protein concentrate and farinograph characteristics and bread quality. *Cereal Chem*, 60(1):71-73; 1983.

131. Thompson, L., Reniers, D., Baker, L.: Succinylated whey protein concentrates in meat patties and wieners. *J Dairy Sci*, 65(9):1715-1721; 1982.

132. Tornberg, E.: Functional characteristics of protein stabilized emulsions: emulsifying behavior of proteins in a sonifier. *J Food Sci*, 45(6):1662-1668; 1980.

133. Tornberg, E., Granfeldt, Y., Hakansson, Ch.: A comparison of the interfacial behaviour of three food proteins adsorbed at air-water interfaces. *J Sci Food Agric*, 33(9):904-917; 1982.

134. Towler, C.: Utilization of whey protein products in pasta. *New Zealand J Dairy Sci Tech*, 17(3):229-236; 1982.

135. Traver, L., Bookwatter, G., Kwolek, W.: Computer-based graphical method for evaluating protein quality of food blends relative to cost. *Food Tech*, 35(6):72-78; 1981.

136. Varunsatian, S., Watanabe, K., Hayakawa, S., Nakamura, R.: Effects of Ca^{++} , Mg^{++} and Na^+ on heat aggregation of whey protein concentrates. *J Food Sci*, 48(1):42,70; 1983.

137. Warren, S.: Symposium on the chemical and nutritional aspects of dairy wastes. *J Agric Food Chem*, 27(4):653-654; 1979.

138. Wesley, P.: Automated UF system yields 80 percent whey protein. *Food Development*, 15(11):38-41; 1981.

139. Wight, B.: Equipping a cottage cheese plant for efficiency and productivity. *Dairy Field*, 164(11):129-130; 1981.

140. Wit, J.: Structure and functional behaviour of whey proteins. *Netherlands Milk Dairy J*, 35(1):47-64; 1981.

141. Wit, J., Klarenbeek, G., Hontelez-Backx, E.: Evalua-

tion of functional properties of whey protein concentrates and whey protein isolates. I Isolation and characterization. Netherlands Milk Dairy J, 37(1/2):37-49; 1983.

142. Yamauchi, K., Shimizu, M., Kamiya, T.: Emulsifying properties of whey proteins. J Food Sci, 45(5):1237-1242; 1980.

143. Zadow, J.: Measurement of the effect of whey protein concentrates on fermenting doughs by the instron tester. Australian J Dairy Tech, 36(2):56-59; 1981.

144. Zadow, J.: Whey utilization. Food Res Quarterly, 43(1):12-20; 1983.

145. Zadow, J., Hardman, J.: Studies on the use of whey protein concentrates in bread. Australian J Dairy Tech, 36(2):60-63; 1981.

146. Zadow, J., Hardman, J., Marshall, S.: Sulphydril residues in whey protein concentrates and their effect on bread baking characteristics in a model system. Australian J Dairy Tech, 38(1):27-28; 1983.

147. Zadow, J., Hill, R.: The formation of complexes between whey proteins and carboxymethyl cellulose modified with substituents of increased hydrophobicity. J Dairy Res, 45:85-92; 1978.

148. Zviedrans, P., Graham, E.: An improved tracer method for measuring the syneresis of rennet curd. Australian J Dairy Tech, 36(3):120-122; 1981.

IX ANEXOS

(1) INDICE DE FIGURAS

<u>Figura #</u>	<u>Página</u>
1	4
2	10
3	14
4	15
5	18
6	29
7	40
8	42
9	48
10	50
11	58
12	59
13	64
14	65
15	70
16	72
17	76
18	80
19	82
20	153
21	155
22	157

(2) INDICE DE TABLAS

<u>Tabla #</u>	<u>Página</u>
1	12
2	20
3	21
4	24
5	31
6	34
7	34
8	35
9	36
10	37
11	41
12	49
13	62
14	77
15	79
16	88

CONTINUACION INDICE DE TABLAS

<u>Tabla #</u>	<u>Página</u>
17	100
18	103
19	105
20	111
21	115
22	121
23	123
24	136
25	144
26	147

(3) INDICE DE GRAFICAS

<u>Gráfica #</u>	<u>Página</u>
1	53
2	54
3	55
4	60
5	74
6	98
7	99
8	108
9	109
10	110
11	122

(4) ABREVIATURAS

aa = aminoácido(s)
Ac = ácido
ALA = alanina
ALFA = alfa-lactoalbúmina
AOAC = Association of official analytical chemists
ARG = arginina
ASP = ácido aspártico
atm = atmósferas
Aw = coeficiente acuoso
Ba = baria
BETA, Beta-L = beta-lactoglobulina
BSA = albúmina sérica
Ca = calcio
°C = grados centígrados
Cac = cacahuete
CaCl ₂ = cloruro de calcio

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ = fosfato de calcio

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ = hidróxido de calcio

Cl = cloro

cm^3 = centímetros cúbicos

CMC = carboximetilcelulosa

CPS = concentrado de proteína de lactosuero

CYS, cyst = cisteína

desnat = desnaturalización

E-NH₂ = radical amino en la posición epsilon

EDTA = ácido etilen-diaminotetra-acético

FAO = Food and Agriculture Organization

FDA = Food and Drug Administration

Fe = hierro

FENA = fenilalanina

FG = filtración en gel

g = gramos

gelif = gelificación

GLU = ácido glutámico

GLY = glicina

GRAS = Generally recognized as secure

H = hora

HCl = ácido clorhídrico

HIS = histidina

H₂O₂ = agua oxigenada

II = intercambio iónico

isoele = isoelectrico

ISOLEU, ILE = isoleucina

K = potasio

K-caseína = kappa-caseína

Kg = kilogramos

Kpa = kilopascales

L = leche

l, L = litros

lactoglob = lactoglobulina

LDP = leche descremada en polvo

LEU = leucina

Ln = logaritmo natural

LYS, Lis = lisina

M = Molaridad

M, m = metro(s)

M⁺² = ión metálico

MET = metionina
 Mg = magnesio
 mg = miligramos
 $MgCl_2$ = cloruro de magnesio
 min = minuto(s)
 ml = mililitros
 mm = milímetros
 mM = micromoles
 mm Hg = milímetros de mercurio
 molec = molecular

N = nitrógeno
 N = normalidad
 Na = sodio
 NaCl = cloruro de sodio
 NaOH = hidróxido de sodio
 Nat = naturaleza
 NH_4OH = hidróxido de amonio
 nm = nanómetros
 NPN = nitrógeno no proteico
 O_2 = oxígeno
 -OH = radical oxhidrilo
 OI = ósmosis inversa

p = peso
 P = fósforo
 part = partículas
 PER = protein efficiency rate
 pH = potencial hidrógeno
 PHE = fenilalanina
 PRO = prolina
 prot = proteína

RNA = ácido ribonucleico

s, seg = segundos
 SER = serina
 Sc Q = porcentaje químico
 SF = sistema buffer libre de sales
 -SH = radical sulfhidrilo
 S-S = radical disulfuro
 SOLS, sols = sólidos

t = tiempo
 temp = temperatura
 TN = nitrógeno total
 tot = total
 TREQ, THR = treonina
 TYR = tirosina

UF, ULTRAFILTRAC = ultrafiltración
USFDA = United States Food and Drug Administration

V = volumen
VAL = valina

WD = sistema buffer de suero dializado