

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

EXTRUSIÓN DE PROTEÍNAS DE SUERO LÁCTEO

Bermeo, Sebastián – LU 112174
Ingeniería Alimentos
Cádiz, Nadia Alejandra – LU 112223
Ingeniería Alimentos

Tutor:
Fernández, Jorge, Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas UADE

Agosto 24, 2015



UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS

Agradecimientos

A nuestro tutor, Jorge Fernández, por su tiempo y dedicación para que podamos realizar dicho trabajo.

A Ana Laura Darduin, por su apoyo, dedicación y perseverancia para que terminemos el trabajo final de ingeniería.

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas de UADE por brindarnos todas las herramientas necesarias para realizar el mismo.

A nuestras familias y amigos por el incondicional apoyo y aliento para seguir adelante y terminar.

Resumen

En este trabajo de investigación se estudió la aplicación de la tecnología de extrusión de alimentos con uso de fluidos supercríticos como alternativa a la problemática ambiental que se les plantea a las plantas lácteas elaboradoras de quesos, y también como una innovación en incorporación de nuevos ingredientes de alimentos, capaces de solidificar sin necesidad de temperaturas elevadas y brindar texturas muy buscadas por los consumidores.

Se analizaron experiencias realizadas por varios investigadores, las cuales abarcaban desde los materiales, equipamiento e insumos necesarios, como también las mejoras en la viscosidad aparente, el comportamiento del fluido, cómo influye la concentración de proteínas, las propiedades visco elásticas y la capacidad de retención de agua en aquellas muestras de proteína de suero lácteo concentrada (WPC) sometidas al proceso de extrusión con uso de fluidos supercríticos (SCFX) comparado con proteína de suero sin procesar y proteína de suero extrudada bajo el proceso de extrusión convencional.

Esto significa un análisis profundo de las variaciones de las propiedades reológicas de dichas muestras que permiten comparar y llegar a la conclusión de que los productos texturizados de proteína de suero concentrada utilizando el proceso SCFX, demostraron tener capacidad de dispersión instantánea y la habilidad de formar geles con la característica de gelificar en frío, sin necesidad de someterlos a altas temperaturas, lo que los vuelve un componente muy interesante para aquellos alimentos con ingredientes sensibles al calor, pero difíciles de incorporar, por pequeñas y grandes empresas lácteas como ingredientes novedosos a la composición de sus alimentos debido a la inversión que requiere y por el escaso campo de aplicación que existe en Argentina, al menos por ahora.

Abstract

This research studied the application of food extrusion technology with injection of supercritical fluids as an alternative to environmental problems that face the processors cheese dairy plants, as well as an innovation in incorporating new food ingredients, able to solidify without high temperatures and providers of textures highly sought after by consumers.

Experiences made by several researchers, which included materials, equipment and supplies needed, as improvements in the apparent viscosity, fluid behavior, how the protein concentration affects the viscoelastic properties and the capacity of water retention were analyzed in those samples of whey protein concentrate (WPC) subjected to the extrusion process with use of supercritical fluids (SCFX) compared with non-process whey protein and extruded under conventional extrusion process.

This means a deep analysis of variations in the rheological properties of the samples compared and concluded that the products texturized using the SCFX process, demonstrated a capability of instant dispersion and the ability to form gels with cold gelling characteristic, without using high temperatures. What becomes a very interesting ingredient for those foods with heat sensitive component, but difficult to incorporate, for small and large dairy companies as novel ingredients to the composition of their food because of the investment required and the limited scope that exists in Argentina, at least for now.

Índice de contenidos

Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract.....	4
Índice de contenidos	5
Índice de Figuras.....	6
Índice de Tablas	6
Introducción.....	7
Elaboración de queso	13
Suero lácteo	16
Proteínas del suero lácteo.....	18
Formas comerciales del suero lácteo	21
Extrusión.....	25
Extrusión o texturización de proteínas de suero lácteo	28
Texturización de proteínas de suero lácteo por extrusión con fluidos supercríticos	29
Beneficios del uso de fluidos supercríticos en el proceso de extrusión	31
Know-How	32
Requerimientos de materias primas e insumos	33
Información indispensable para la Ingeniería básica	34
Proceso Productivo	35
Influencia de la acidez en la obtención de TWP	35
Reología.....	35
Capacidad de Retención de agua	36
Aplicaciones de las proteínas texturizadas de suero lácteo.....	37
Actualidad del mercado y enfoque comercial	43
Planta elaboradora tomada como punto de análisis	44
Análisis FODA	46
Conclusiones.....	49
Bibliografía.....	51
Anexos	56

Índice de Figuras

Figura 1. Productos que se elaboran en empresas con producción mayor a 250.000 litros de leche diarios.	10
Figura 2. Procesamiento para la obtención de suero lácteo en diferentes formas comerciales.	25
Figura 3. Esquema básico de una extrusora de un solo tornillo	26
Figura 4. Esquema básico de una extrusora de dos tornillos	26
Figura 5. Esquema de equilibrio de fases.	30
Figura 6. Esquema de texturización de WPC por extrusión usando fluido supercrítico	34
Figura 7 Capacidad de retención de agua (CRA) de muestras de TWPC seleccionadas, a 25°C.	36
Figura 8. Layout Planta Láctea	46
Figura 9. Miscelas de caseína	58
Figura 10. Representación de obtención del permeado	59

Índice de Tablas

Tabla I. Destino del suero en la provincia de Santa Fe (en porcentaje), empresas agrupadas de acuerdo a la producción en litros de leche diarios.	8
Tabla II. Tecnología disponible (porcentaje de casos), empresas agrupadas de acuerdo a la producción en litros de leche diarios.	9
Tabla III. Composición porcentual de los dos tipos de suero	18
Tabla IV. Composición proteica básica del suero lácteo.	19
Tabla V. Porcentaje de cada componente en las distintas formas comerciales del suero lácteo.	23
Tabla VI. Parámetros del CO ₂ en su punto crítico.	30
Tabla VII. Valores en gramos para 1000g de proteína	56
Tabla VIII. Que se obtiene de los tipos de procesos de separación por membrana	59
Tabla IX. Valores medios encontrados para el suero crudo	60
Tabla X. Contenido y pérdida de proteínas y lactosa, y eliminación de grasa	61

Introducción

El siguiente trabajo de investigación tiene por objetivo presentar una nueva aplicación de la técnica (ya conocida en la industria alimenticia) de extrusión con inyección de fluidos supercríticos a la industria láctea de nuestro país fundamentalmente en la industria del queso, como así también, enseñar el equipamiento que permite aprovechar un subproducto agroalimentario de origen animal como es el suero sobrante de la elaboración del queso, obtenido luego de coagular la leche. Encontrando así, una solución a la problemática que se le presenta actualmente a los elaboradores de quesos con respecto a dicho residuo y a su vez, darle mayor valor agregado a un producto que hoy en día tiene un bajísimo valor económico, pero un alto valor nutricional, alcanzando un alto nivel de aprovechamiento.

El suero lácteo es la fracción de la leche que no precipita por la acción de cuajo o por los ácidos durante el proceso de elaboración de quesos. Es una de las dos principales fuentes de proteína que se encuentra en la leche y constituye alrededor del 20% de la proteína en la leche de vaca, mientras que la caseína representa el 80% restante. Se trata de una de las mayores reservas de proteínas alimentarias que poco a poco se va incorporando a los canales de consumo humano.

Consiste en un subproducto susceptible a ser procesado mediante extrusión para incrementar su valor añadido. Permitiendo así, el desarrollo de productos de gran calidad nutricional a partir de un producto de bajo valor agregado, ya que contiene prácticamente el 55% de los constituyentes de la leche, conformados por: lactosa, proteínas, minerales, lípidos y vitaminas.

La conversión de suero de queso en un producto con valor agregado y de exportación significa, además de un impacto económico positivo, la preservación del ambiente ya que se industrializa un residuo altamente contaminante y por último, un aporte al desarrollo tanto regional como nacional.

La mayor concentración de plantas lácteas del país se encuentran distribuidas, principalmente, en las provincias de Córdoba (38%), Buenos Aires (33%) y Santa Fe (19%).

A continuación, sólo para conocer datos que ayuden a comprender la importancia de la utilización de este subproducto de alto valor nutricional, se resume en la Tabla I el destino del suero lácteo en la provincia de Santa Fe.

Tabla I. Destino del suero en la provincia de Santa Fe (en porcentaje), empresas agrupadas de acuerdo a la producción en litros de leche diarios.

	Hasta 5000 lts.	5000 – 30.000 lts.	30.001 – 250.000 lts.	Más de 250.000 lts.
Ricota	23	54	15	8
Alimentación animal	18	55	23	5
Venta terceros	41	29	18	12
Efluentes	57	36	7	0
Elaboración de productos	0	0	0	100

Fuente: Revista Tecnología Láctea Latinoamericana Año XVII 73.

Analizando la información obtenida de esta tabla se puede concluir que: Las grandes empresas las cuales producen más de 250.000 lts/ día de leche son las únicas que destinan el suero para la elaboración de otros productos. En este nicho productivo puede ser una gran alternativa para el desarrollo de nuevos productos disponiendo con la tecnología necesaria. Sin embargo lo más interesante se encuentra en el resto de sectores productivos. Del porcentaje de suero que tiene como destino los efluentes, el 57% proviene de las empresas más pequeñas y un 36% proviene de aquellas empresas que producen 5000 - 30.000 lts. Solo un 7% proviene de las que producen entre 30.001 - 250.000 lts. Le sigue la primera alternativa para evitar el destino final a efluentes, la alimentación animal. En este caso de todo el suero destinado para alimentación animal, el 19% proviene de las más pequeñas mientras que el 57% proviene de las empresas entre 5000 - 30.000 lts y un 24% de aquellas entre 30.001 y 250.000 lts.

Actualmente, las plantas relevadas no cuentan con el equipamiento necesario para aprovechar dicho residuo. La Tabla II muestra la tecnología disponible por las mismas (en porcentaje de casos).

Tabla II. Tecnología disponible (porcentaje de casos), empresas agrupadas de acuerdo a la producción en litros de leche diarios.

	Hasta 5000 lts.	5000 – 30.000 lts.	30.001 – 250.000 lts.	Más de 250.000 lts.
Secadora (spray)	0	17	33	50
Pasteurizador	0	13	13	74
Equipo membranas	0	13	13	74
Desnatadora	10	30	30	30
Enfriadora	13	38	13	38
Sin equipamiento	100	0	0	0

Fuente: Revista Tecnología Láctea Latinoamericana Año XVII 73.

Se puede observar que más allá de los equipos de frío, las pequeñas empresas no invierten en tecnología para elaborar otro tipo de productos. Se puede analizar también que el resto de los sectores si lo hace y de toda la tecnología disponible, priorizan la inversión en secadores spray. Las grandes empresas también en su gran mayoría disponen de equipos de filtración por membranas.

En la Figura 1 se muestran los productos elaborados, en porcentaje, para aquellas empresas relevadas con producción mayor a 250.000 litros de leche diarios.

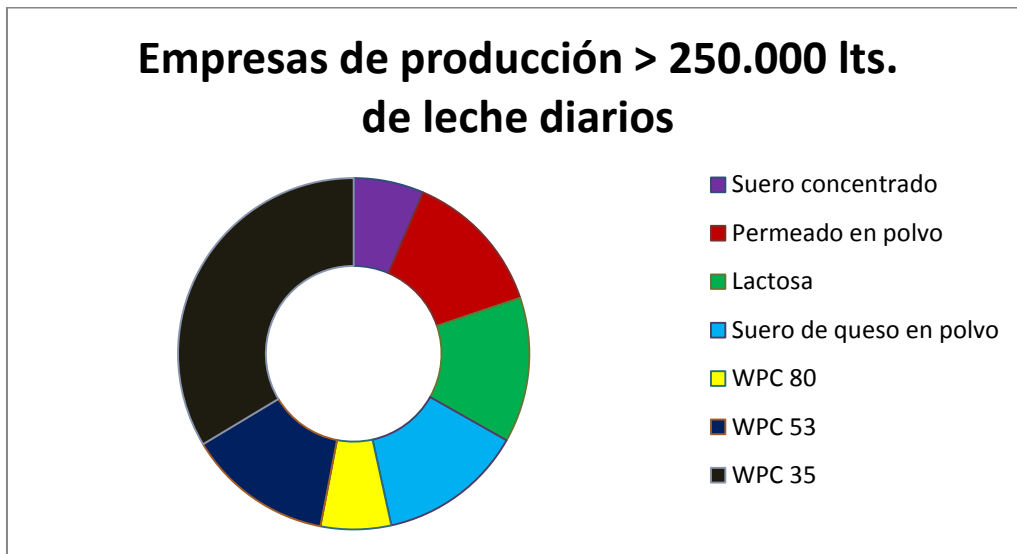


Figura 1. Productos que se elaboran en empresas con producción mayor a 250.000 litros de leche diarios.

Fuente: Revista Tecnología Láctea Latinoamericana Año XVII 73.

Se sabe que no es posible la eliminación directa del suero a cauces de agua ya que provoca daños importantes en los ecosistemas, siendo afectados por su alta concentración de nutrientes, la cual favorece la proliferación de microorganismos que consumen grandes cantidades de oxígeno y se desarrollan a gran velocidad. El desequilibrio entre la oferta y la demanda de oxígeno en la zona del vertido es tan grande que, en la mayoría de los casos, la fauna y la flora originarias no consiguen sobrevivir.

La lactosa es el principal agente contaminante del suero de leche, ya que se encuentra a una concentración de aproximadamente 50 gramos por litro. Su poder contaminante se establece mediante dos parámetros principales: la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO).

El primero mide el grado de contaminación del suero lácteo cuantificando el oxígeno requerido por determinados microorganismos para poder oxidar el efluente en cuestión; mientras mayor sea el oxígeno requerido por los microorganismos, mayor será el nivel de contaminación del residuo. En cambio, la DQO hace referencia a la cantidad de materia orgánica susceptible a ser oxidada por medios químicos, al igual que la DBO, a mayor oxígeno utilizado en la oxidación del residuo, mayor es su nivel de contaminación. Por lo anterior, se hace aún más necesario poder aprovechar al máximo el suero lácteo.

Aunque el efecto ambiental de producir queso es bien conocido, el suero resultante también representa una excelente fuente de proteínas funcionales, péptidos, lípidos, vitaminas, minerales y lactosa. Por esta razón, el empleo del mismo en industrias lácteas y no lácteas ha ido en aumento alrededor del mundo en los últimos años, convirtiéndose en un material muy valioso para la industria alimenticia.

Diversos estudios acerca del valor nutricional de dichas proteínas demostraron que poseen un alto valor biológico, cumpliendo con el patrón de proteína ideal (**Ver Anexo A**) definido por la FAO y la OMS (en función del aporte de aminoácidos esenciales que requiere el ser humano para su crecimiento).

La separación de componentes del suero con una previa eliminación de grasas, va a permitir obtener concentrados de excelente calidad y alto valor nutricional.

Estudios indican que el tratamiento más efectivo para eliminación de grasas y mayor aprovechamiento de proteínas y lactosa es la centrifugación a 25°C y 1 bar de presión (**Ver Anexo D**). Este proceso remueve entre el 60 y 80% de grasa del suero. El mismo puede complementarse con un proceso de micro-filtración para una recuperación media de 90% de la lactosa presente en el suero quesero, obteniéndose suero deslactosado. La lactosa obtenida es una fuente de material energético y puede ser utilizada en diversos procesos biotecnológicos. Se trata de un componente muy usado en la industria alimenticia y farmacéutica.

Una vez eliminada la grasa y la lactosa se procede a la separación de los componentes por ultrafiltración, en donde se separan las proteínas de las sustancias solubles dando como resultado un producto llamado WPC (Whey Protein Concentrate) o WPI (Whey Protein Isolate), dependiendo del grado de filtración al que se somete el suero.

Una vez obtenido el suero en polvo, una parte de éste puede ser destinado a la elaboración de quesos tipo ricota, queso azul y dulce de leche con la finalidad de obtener una fórmula más económica. La parte restante puede ser acondicionada para ser procesada en un extrusor, en donde se produce la transformación de proteínas globulares en proteínas fibrosas, obteniéndose las llamadas proteínas texturizadas de suero. Las mismas, sirven como materia prima de otros procesos de elaboración de alimentos, aportando una mayor cantidad de nutrientes al producto y texturas únicas.

Por lo tanto, la separación del suero en lactosa y proteínas representa la posibilidad de utilización de los constituyentes de mayor importancia comercial presentes en el suero quesero.

Actualmente, alrededor del mundo, las principales aplicaciones de las proteínas texturizadas de suero son como “meat extender” y “meat analog” en la industria cárnica, como mejorador de la textura y sabor en la industria del yogur tipo smoothie, en la producción de barras nutritivas para obtener una textura crujiente y un alto nivel proteico, en la producción de snacks a base de harina de maíz, arroz y papa extruidos junto con proteínas de suero para mejorar el perfil nutricional del producto terminado, en alimento balanceado para animales y como estabilizante de emulsiones, entre otras.

Sin bien en Argentina existen plantas procesadoras de suero de leche, ninguna de ellas cuenta con el equipamiento necesario para texturizar proteínas mediante un extrusor. Los productos que actualmente pueden obtenerse en nuestro país son suero en polvo, suero en polvo desmineralizado, permeado en polvo, lactosa de grado alimenticio y concentrado proteico de suero (WPC)

Las últimas estimaciones indican que en Argentina se producen aproximadamente entre 75.000 y 80.000 toneladas por año de suero en polvo y subproductos, en su mayor parte deshidratados mediante secado spray, de las cuales se exporta alrededor del 50%.

Elaboración de queso

El Código Alimentario Argentino define queso como “el producto fresco o madurado que se obtiene por separación parcial del suero de la leche o leche reconstituida (entera, parcial o totalmente descremada), o de sueros lácteos, coagulados por la acción física, del cuajo, de enzimas específicas, de bacterias específicas, de ácidos orgánicos, solos o combinados, todos de calidad apta para uso alimentario; con o sin el agregado de sustancias alimenticias y/o especias y/o condimentos, aditivos específicamente indicados, sustancias aromatizantes y materiales colorantes.”

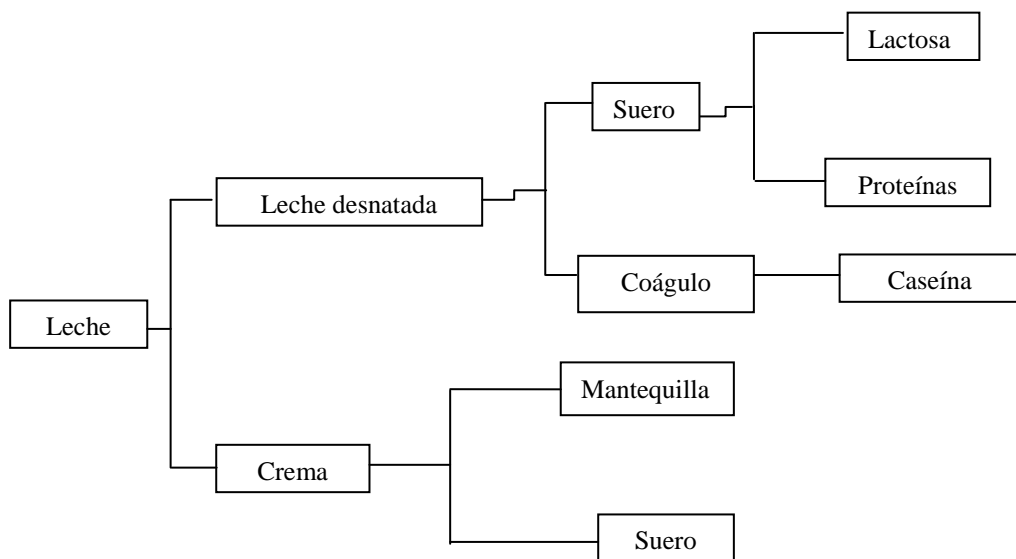
La elaboración del queso en términos generales es similar entre las variedades de queso que existe. Sin embargo, se encuentran diferencias importantes en algunas operaciones unitarias. Para cualquier variedad de queso se trate, la leche debe ser de muy alta calidad, cumpliendo con óptimas condiciones de higiene desde su origen, y aún en el propio establecimiento elaborador. Dependiendo del tipo de queso que se quiera elaborar, la leche se pasteuriza o se utiliza cruda. El proceso de pasteurización elimina agentes patógenos y evita cualquier posible producción microbiana no deseada, permitiendo que sigan presentes aquellos que producen la maduración del queso. Para esto se somete la leche a unos 80°C durante un lapso de 12 a 15 minutos. Aunque, el Código Alimentario Argentino excluye de la obligación de pasteurizar la leche que se destine a la elaboración de quesos que se sometan durante no menos de sesenta días al proceso de maduración.

Luego de la pasteurización se le adicionan bacterias seleccionadas, las cuáles van a producir ácido láctico por fermentación de la lactosa, y una enzima de origen animal llamada cuajo la cual coagula la leche.

Esta mezcla se deja reposar en tinas para su incubación y formar de esta manera la cuajada. El cuajado es el único proceso estrictamente necesario. El mismo consiste en separar la grasa de la leche, dando lugar a dos sustancias de aspecto y composición muy diferentes; la pasta de queso y el suero. La primera es quien sufrirá la aplicación de otros procesos hasta dar con las características buscadas del queso que se quiera elaborar.

Existen diversas formas de realizar el cuajado. La más común es añadiéndole algún tipo de fermento o cuajo y la acidificación. Para acidificar la leche, lo más

frecuente es el uso de bacterias, que convierten los azúcares de la leche en ácido láctico. En la mayoría de los quesos se emplean bacterias como las *Lactococcus*, *Lactobacillus* o *Streptococcus*. A excepción de aquellos quesos dotados de agujeros que se caracterizan por el uso de bacterias *Propionibacter shermanii*, las cuáles producen burbujas de dióxido de carbono.



Fuente: Tecnología de los Alimentos II, Ingeniería en Alimentos, UADE

Existen algunos quesos frescos que se cuajan únicamente por acidificación, pero en la mayoría se usan también cuajos. El cuajo hace que tome un estado más consistente, en comparación con las frágiles texturas de las coaguladas simplemente por ácidos.

En el caso de los quesos duros la masa es sometida a calentamiento entre 50 y 54 °C durante el proceso de elaboración (antes del moldeado). Esto permite el mayor desuerado de la masa.

Por el contrario, aquella masa que no es calentada, se la denomina masa cruda (para quesos de pasta blanda).

Para el moldeado, una vez obtenida la masa se coloca en moldes calados que le darán la forma al queso. Los moldes son perforados para facilitar la separación de la totalidad del suero. Para asegurar el formato y la homogeneidad final en su interior, se someten a una

determinada presión mediante la utilización de prensas especiales durante un tiempo determinado.

La finalidad de la salazón es proteger al queso de microorganismos, potenciando el sabor de la masa. Para esto el queso es introducido en piletas con salmuera, el tiempo de permanencia dependerá de las características del tipo de queso que se esté elaborando.

Finalmente, los quesos se cubren con diferentes materiales: embolsado plástico al vacío autorizado para los quesos semiduros en forma de barra; parafinado con o sin colorante para aquellas variedades en hormas. Para los quesos duros, lo usual es el pintado de la cáscara con pinturas especiales.

El envasado en porciones se realiza con el embolsado plástico permitido, hojas de estaño o aluminio u otro permitido por la autoridad sanitaria nacional. El propósito es evitar el desarrollo de mohos y bacterias en la corteza del producto.

Es fundamental para lograr un buen producto, por lo que deben respetarse los tiempos según lo requiera cada variedad de queso para lograr el sabor y la textura característica de cada queso. La temperatura y humedad es esencial, en función del queso que se quiere obtener.

Citando al Código Alimentario Argentino, se diferencian ingredientes obligatorios, opcionales y aditivos.

Ingredientes obligatorios:

- Leche y/o leche reconstituida (integral o entera, semi desnatada o parcialmente descremada, desnatada o descremada y/o suero lácteo)
- Coagulante. Puede ser de naturaleza física, química, bacteriana o enzimática. Sin importar su origen, siempre se trata de proteasas con actividad sobre las caseínas de la leche. Se diferencian en que algunos son más específicos que otros y en su intensidad. Lo que va a influir en la calidad y en las características del queso que se está elaborando.

Ingredientes opcionales:

- Cultivos de bacterias lácticas u otros microorganismos específicos
- Cloruro de sodio

- Cloruro de calcio
- Caseína
- Caseinatos
- Sólidos de origen lácteo
- Especias
- Condimentos

Los aditivos permitidos en la elaboración de cada tipo de queso se encuentran listados en el capítulo VII del Código Alimentario Argentino.

Por último, cuando se trate de la elaboración de un queso de muy alta humedad tratado térmicamente, se podrá emplear el uso de coadyuvantes de tecnología como es el caso de los cultivos de bacterias lácticas u otros microorganismos específicos.

Suero lácteo

El Código Alimentario Argentino define Suero a través del Artículo 582 del Capítulo VIII – Alimentos Lácteos:

Art 582 - (Res 879, 5.6.85) Con la denominación de *Sueros de Lechería*, se entienden los líquidos formados por parte de los componentes de la leche, que resultan de diversos procesos de elaboración de productos lácteos, a saber:

1. Suero de queso: es el subproducto líquido proveniente de la elaboración de quesos.
2. Suero de manteca: es el subproducto líquido proveniente del batido de la crema en la obtención de manteca.
3. Suero de caseína: es el subproducto líquido proveniente de la elaboración de caseínas.
4. Suero de ricota: es el líquido resultante de precipitar por el calor, en medio ácido, la lacto albúmina y la lacto globulina del suero de queso.

De la actividad quesera resultan dos tipos de suero. La composición del mismo dependerá de la leche utilizada y el tipo de queso a elaborar, además del sistema de coagulación que se utilice.

- **Suero dulce.** Es el obtenido por la elaboración de quesos coagulados con cuajo, quimosina o renina, u otros tipos como pueden ser los cuajos de hongos o vegetales. Rompen las caseínas de la leche, haciendo que se desestabilicen y precipiten, bajo condiciones específicas de temperatura (15 - 50°C), pH levemente ácido (5,9 - 6,6) producto de la incorporación de cultivos lácteos e iones de calcio. La principal enzima utilizada es la quimosina. Este tipo de suero presenta una acidez no muy elevada, comprendida entre 5 a 26° Dornic*.
Prácticamente no contiene calcio (0,6 a 0,7%), ya que éste queda retenido en la cuajada en la forma de paracaseinato cálcico. Este tipo de suero se obtiene de la elaboración de queso mozzarella y otros. Como agregado de valor, el suero dulce, es el ideal.

- **Suero ácido.** Obtenido a través de la variación de la concentración de las sales minerales y el pH del medio. La precipitación ácida de la caseína se realiza disminuyendo el pH de la leche a un valor de 4,5 a 4,6. En este punto se alcanza el punto isoeléctrico de la mayoría de las caseínas presentes. La carga eléctrica neta de la proteína es igual a cero, lo que provoca que la micela de caseína se desestabilice y precipite, dejando en solución solamente las proteínas de tipo séricas. Presenta una acidez muy elevada que puede llegar a 120° Dornic*.

Contiene 1,8 a 1,9% de calcio, debido a que el ácido láctico secuestra el calcio del complejo paracaseinato cálcico, produciendo lactato cálcico. Presenta un pH más bajo que el suero dulce, lo que dificulta su manejo y su aprovechamiento en posteriores procesos. Este tipo de suero se obtiene de la elaboración de yogur y queso crema.

*Los grados Dornic son una forma de expresar la acidez de la leche. Corresponde al volumen de solución de NaOH N/9 (si se usan 9ml de leche con una solución valorada de 0,1N de NAOH, los centímetros empleados multiplicados por 10 corresponden a los grados Dornic. Como el peso molecular del ácido láctico es de 90g/mol, 1 grado Dornic equivale a 1mg de ácido láctico en 10 ml de leche o a 0,01% de ácido láctico) utilizado para titular 10ml de leche en presencia de fenoftaleína. Este resultado expresa el contenido en ácido láctico.

Se estima que por cada kilogramo de queso elaborado, se obtienen 9 litros de lacto suero. Esto representa cerca del 85-90% del volumen de la leche y contiene aproximadamente

el 55% de sus nutrientes. Entre los más abundantes están la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales. Presenta una cantidad rica de minerales donde sobresale el potasio, seguido del calcio, fósforo, sodio y magnesio. También cuenta con vitaminas del grupo B (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina) y ácido ascórbico.

Proteínas del suero lácteo

La Tabla III a continuación detalla la composición porcentual de los dos tipos de suero.

Tabla III. Composición porcentual de los dos tipos de suero

PROPIEDADES	SUERO DULCE (%)	SUERO ÁCIDO (%)
Materia Seca	70	66
Lactosa	51	42
Proteínas	6 – 7	6 - 7
Materia Grasa	0,2	1,0
Materias minerales	4 – 5	7 - 8
Calcio	0,45	1,05
Fósforos	0,4	0,8
Ácido Láctico	0	10

Fuente: La Alimentación Latinoamericana N° 292. Publitec

Se observa que las dos variedades poseen valiosos componentes desde el punto de vista nutricional. Lo que genera aproximadamente 3,5 kg de DBO y 6,8 kg de DQO por cada 100 kg de lacto suero líquido, siendo la lactosa, el principal componente de sólidos que contribuye a la alta DBO y DQO. Si dichos componentes no son aprovechados o tratados adecuadamente pueden significar un gran foco de contaminación ambiental, debido a la gran materia orgánica presente.

Las proteínas del suero constituyen aproximadamente un 20% de las proteínas totales de la leche. Se caracterizan por sus propiedades biológicas y funcionales, que les permiten ser las causantes de importantes características texturales y de retención de agua en

algunos productos alimenticios en los cuales se emplea suero lácteo. Estas proteínas son una rica y balanceada fuente de aminoácidos esenciales.

Algunos de los efectos biológicos son su actividad anticancerosa y su papel como estimulador de la respuesta inmune, entre otros.

A continuación se detalla en la Tabla IV la composición proteica básica del lacto suero.

Tabla IV. Composición proteica básica del suero lácteo.

Proteína	Concentración (g/L)	Proporción relativa en las proteínas del suero (%)
α -lactalbúmina	3,3	55,00-65,00
β -lactoglobulina	1,2	15,00-25,00
Inmunoglobulinas	0,5	10,00-15,00
Seroalbúmina	0,3	5,00-6,00
Proteasa-Peptona	0,6	10,00-20,00
Beta- caseína	<0,10	1,00-2,00
Proteínas menores	<0,05	<0,50
Caseino macro péptidos (suero dulce)	1,3	

Fuente: La Alimentación Latinoamericana N° 292. Publitec.

La β -lactoglobulina y α -lactalbúmina son responsables de las propiedades de emulsificación y formación de espuma en soluciones de lacto suero.

El suero de leche posee el mayor valor biológico de cualquier proteína conocida, es decir que se transforma en un alto porcentaje en proteína muscular durante las actividades metabólicas. Lo cual las hace altamente beneficiosas, sobre todo para aquellas personas que realizan deportes de alto rendimiento:

- Son de rápida digestión. Son fuente de proteína de alta calidad y de fácil asimilación que estimulan una mayor síntesis de proteína y ganancia neta de proteína en los tejidos.

- Directamente refuerzan varios aspectos importantes de la función inmune que protege contra la enfermedad y la infección, por su contenido de inmunoglobulinas que actúan directamente en el sistema inmunológico.
- Proveen una fuente rica de cisteína que incrementa la capacidad antioxidante y mejora el desempeño en el ejercicio.
- Promueven niveles más altos de glicógeno en el hígado; una forma de almacenamiento importante de energía para el ejercicio.
- Reduce los marcadores de músculo dañado y la velocidad de recuperación después del ejercicio.
- Proporcionan mayor fuerza durante el entrenamiento de resistencia y mejor crecimiento muscular.
- Proporcionan una fuente de calcio biodisponible que ayuda a mantener la salud ósea y previene las fracturas de estrés que muchos atletas experimentan durante el entrenamiento.
- Por su alta solubilidad, las hacen ideales para adicionarse en bebidas deportivas o en suplementos alimenticios para su consumo antes, durante y después del ejercicio.
- Poseen Calcio y vitamina D. Lo que resulta muy interesante para personas hospitalizadas o con un sistema débil ya que se digiere directamente en el intestino delgado y no en el estómago.
- Es un recurso ideal de proteína para vegetarianos que incluyen productos derivados de la leche en su dieta diaria.
- Ofrece beneficios en el manejo y control de peso y en la salud cardiovascular.
- En estudios realizados se demostró que la proteína del suero de leche reduce la cantidad y tamaño de varios tumores cancerígenos.
- La α -lactoalbúmina es rica en triptófano, un aminoácido que ha sido utilizado en diversos estudios para demostrar que mejora el sueño y la disposición al día siguiente, y el estado de ánimo y el desempeño cognoscitivo bajo situaciones de estrés.

Formas comerciales del suero lácteo

Con la finalidad de ampliar las posibilidades de aprovechamiento de los componentes del lacto suero, se han desarrollado técnicas de fraccionamiento por membranas.

Principalmente buscan aprovechar dichas proteínas, a partir de las cuales es posible obtener productos bioactivos con un contenido proteico superior al del suero en polvo.

Para la separación de los componentes del suero lácteo es esencial el proceso previo de eliminación de grasa. Este paso es considerado esencial, ya que constituye uno de los agentes de saturación que puede contribuir, por ejemplo, a la disminución del flujo en el proceso con membranas, lo que puede ocasionar la obtención de productos con sabores alterados durante el almacenamiento.

Diversos estudios afirman que el tratamiento más efectivo, que permite un mayor aprovechamiento de las proteínas y la lactosa, es la centrifugación a 25°C y 1 bar de presión. Este proceso remueve entre el 60 y 80% de grasa del suero (**Anexo D**). Puede complementarse con micro-filtración para obtener mejores resultados. Esta combinación permite una recuperación media de 90% de la lactosa del suero de queso.

Una vez eliminada la grasa, se procede a la ultrafiltración. Proceso en el cual se retira el agua y la lactosa (permeado). Para esto se bombea el suero aplicando una presión que lo hace pasar por una serie de membranas de celulosa muy selectivas. Se trata de membranas semipermeables que separan el flujo en dos corrientes: la corriente de permeado formada por todas aquellas partículas que han conseguido atravesar la membrana, en este caso el agua y parte de la lactosa, mientras que el concentrado son todas las sustancias que no pudieron atravesarla.

El tamaño de poro en este tipo de membrana es de 0.2 μm , una apertura tan minúscula que muchas moléculas son incapaces de atravesar.

Aplicando distintos niveles de filtración es posible obtener dos tipos de proteínas de suero, WPC y WPI.

WPC: (Whey Protein Concentrate) Proteína Concentrada del Suero Lácteo: es el término que se usa para describir el suero en polvo que contiene desde un 25% a 85% de proteínas dependiendo del proceso al que fue sometido y la calidad del suero lácteo que utilizó como materia prima. Para la obtención del WPC el suero debe pasar por un pre acondicionado. Esta etapa previa tiene como objetivo por un lado retirar sustancias grasas y sólidos finos provenientes de la elaboración del queso y por otro lado lograr inactivar microorganismos y enzimas mediante un proceso de pasteurización. Posterior a este acondicionado pasa por un proceso de microfiltración donde se elimina la mayor cantidad de sustancias grasas. Por último, pasa por una etapa de ultrafiltración donde se separan las proteínas de las sales y lactosa.

WPI: (Whey Protein Isolate) Proteína Aislada del Suero lácteo: Una vez que se obtuvo el WPC, este es sometido a etapas adicionales de filtración. Para poder llevar a cabo etapas adicionales de filtración debe ser previamente tratado. El tratamiento previo consiste en adicionar agua desmineralizada para diluir el contenido. De esta manera se separa el contenido de grasas y de minerales obteniéndose un porcentaje de proteína.

Otra forma de obtención de WPI es mediante el proceso de intercambio iónico. Consiste en utilizar resinas especiales con cargas inversas a las de las proteínas, de esta forma se atraen a las proteínas separándolas de las grasas, lactosa y sales. Después se invierte la carga de las resinas separando finalmente las proteínas.

Diferencias WPC y WPI: Al tener una composición diferente tienen características diferentes. La proteína de suero concentrada (WPC) es baja en grasa, tiene altos valores biológicos y contiene aproximadamente el 75% de proteína pura por peso. La proteína aislada de suero de leche (WPI) generalmente contiene 90-96% de proteína. La ventaja de la proteína aislada es que tiene más proteína, menos grasa, lactosa y ceniza que la concentrada gramo por gramo. Es por esta razón que puede ser incluido en productos como alimentos bajos en grasa, deslactosados, fórmulas médicas, infantiles y para deportistas.

Todas las etapas posteriores de filtración que sufre el WPI conllevan un costo adicional de producción por lo que su precio es más elevado que el del WPC.

A continuación, se presenta una tabla con los porcentajes de cada componente de las distintas formas comerciales del lacto suero. Sólo se considera el lacto suero dulce por ser ideal para la utilización en posteriores procesos para dar un mayor valor agregado.

Tabla V. Porcentaje de cada componente en las distintas formas comerciales del suero lácteo.

Producto	Componentes				
	Proteína (%)	Lactosa (%)	Grasa (%)	Minerales (%)	Humedad (%)
Lacto suero dulce	0,6 - 0,7	5,1	0,02	0,4 - 0,5	93,7 - 93,9
Lacto suero dulce en polvo	11,0 - 14,5	63,0 - 75,0	1,0 - 1,5	8,2 - 8,8	3,5 - 5,0
WPC 34%	≥ 34,0	≤ 55,0	≤ 4,0	≤ 8,0	≤ 4,0
WPC 35%	34,0 - 35,4	51,0 - 54,5	3,5 - 5,0	3,1 - 8,0	
WPC 80%	80,0 - 82,0	4,0 - 8,0	4,0 - 8,0	3,0 - 4,0	3,5 - 4,5
WPI	91,9	2,3	0,4	1,84	3,23
WP en polvo	3,0 - 8,0	65,0 - 85,0	< 1,5	8,0 - 20,0	< 5
Leche descremada en polvo	34,0 - 37,0	49,5 - 52,0	0,6 - 1,25	8,2 - 8,6	3,0 - 4,0

Fuente: Revista La Alimentación- Año XLI -292

TWP: Se conoce una nueva generación de proteínas llamadas proteínas de suero texturizadas (TWP) obtenidas luego de ser sometidas al proceso de extrusión. Dependiendo del proceso aplicado, algunas presentan la capacidad de gelificar en frío y formar soluciones altamente viscosas, al tiempo que ofrecen mejores cualidades emulsificantes, permitiendo su uso en numerosos productos: mayonesa, salsas, queso de untar, productos cárnicos prensados, papas fritas, croquetas, productos de panadería e incluso cosméticos.

El esquema a continuación resume los procesos y operaciones unitarias empleadas para obtener las diferentes formas comerciales de lactosuero.

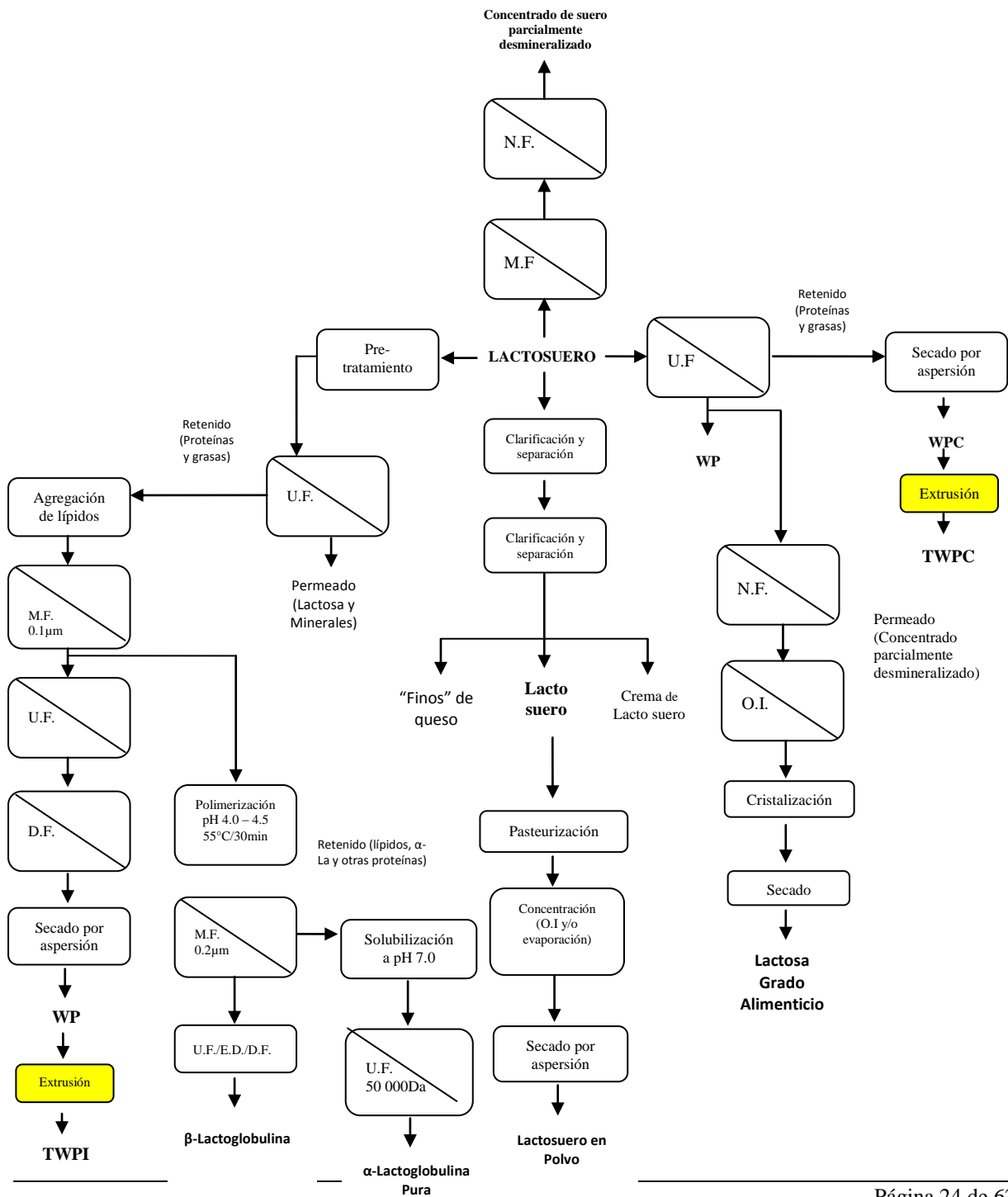


Figura 2. Procesamiento para la obtención de suero lácteo en diferentes formas comerciales.

Fuente: Revista “La alimentación latinoamericana, año XL1, Nro. 292.

U.F.: Ultrafiltración
M.F.: Micro filtración
N.F.: Nano filtración
D.F.: Diafiltración
O.I.: Ósmosis Inversa
β -Ig: β -lactoglobulina
α -La: α -lactoalbúmina
WPC: Proteína de suero concentrada
WPI: Proteína de suero aislada
TWPC: Texturizado de proteína de suero concentrada
TWPI: Texturizado de proteína de suero aislada

Extrusión

La extrusión de alimentos es una de las técnicas más utilizada en el ámbito industrial durante los últimos 50 años, aunque es casi desconocida para muchas personas que consumen tales alimentos de manera frecuente. Inicialmente su uso se limitaba a mezclar y dar forma a los cereales; actualmente, sin embargo, se usa también para transformar una amplia variedad de materias primas en productos intermedios modificados o productos finales (www.consumer.es)

El equipo de extrusión es muy simple. Consta de un cilindro con uno o dos tornillos sinfín que generan energía mecánica por fricción y que pasa a través del cañón, en cuyo interior se introducen los ingredientes, tras lo cual el o los tornillos lo llevan hasta la salida. Las formas y tamaños obtenidos dependen del molde; ruedas, cuadros, letras, bolas, figuras, hilos, etc.

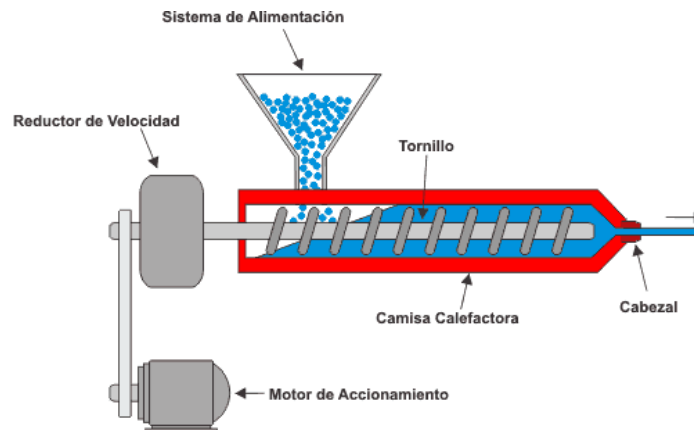


Figura 3. Esquema básico de una extrusora de un solo tornillo

Fuente: Journal of Food Science.

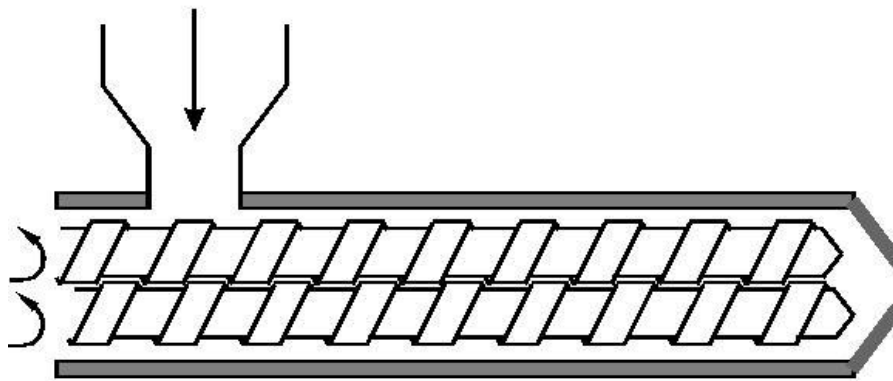


Figura 4. Esquema básico de una extrusora de dos tornillos

Fuente: www.intechopen.com

El proceso de extrusión consiste en inyectar vapor directa o indirectamente a través de camisas calefactoras. La materia prima rica en almidón y/o proteína y humectada, es convertida en una masa pseudoplástica y cocinada, dando como resultado la gelatinización de los almidones, la desnaturalización de su proteína, la inactivación de enzimas, la destrucción de sustancias tóxicas nativas en el alimento y la reducción, en el producto final, de microorganismos que puedan ser nocivos a los consumidores

Los extrusores tienen tornillos, los cuales están ubicados firmemente y ajustados en un cilindro, el cual gira por medio de un motor eléctrico. Las materias primas secas con una humedad de 15 - 25%, que se van a extruir, son transportadas al extrusor, la fricción que se

produce entre el producto y el tornillo transportador, hace que se eleve rápido la temperatura del producto a 140 - 170 °C, durante uno 15 - 90 segundos, a través del cilindro. En la descarga final del extrusor el cilindro está equipado con unos dados, que producen una presión para formar el producto dentro del anillo del extrusor.

La técnica de extrusión puede ser en frío o en caliente, lo que determina los cambios en las propiedades organolépticas del alimento, y con alta o baja presión.

Aplicando altas temperaturas el producto pierde más cantidad de agua, con lo que se obtienen productos con menor humedad y, por tanto, con más vida útil. En este caso, se utiliza un sistema de calefacción que aumenta la temperatura y que permite obtener los productos con poca densidad y baja humedad, como aperitivos o snacks y también productos más densos que posteriormente pasan por un secado como alimentos para animales.

Por el contrario, trabajando en frío se obtienen productos con más actividad de agua pero con una menor pérdida de cualidades. La temperatura del alimento no aumenta y se obtienen productos de elevada densidad y elevada humedad, como galletas, magdalenas o golosinas.

Al trabajar el producto con alta presión, éste, al salir al exterior, pierde parte de su agua por vaporización y el resultado es un producto con baja actividad de agua, por tanto, más duradero. Por el contrario, al trabajar con baja presión, el producto que sale del troquel posee alto contenido de humedad y alta densidad, aunque precisará otros tratamientos como el secado.

Los compuestos aromáticos se pueden añadir al final o se pueden recuperar los del propio alimento mediante unas duchas especializadas. Existen aromas encapsulados que se pueden introducir desde el principio, pero tienen el inconveniente de que son bastante caros.

En el producto final puede haber pérdida de color, que puede ser causa del calor, que durante el proceso afecta a algún pigmento termo sensible, o simplemente por reacciones internas entre los componentes del alimento.

Mediante el proceso de texturización se obtienen productos como cereales para desayuno, aperitivos, alimentos infantiles, chicles, mazapán, caramelos, barritas de frutas y chocolate, pan tostado, copos de maíz, proteínas vegetales texturizadas, productos de pastelería, regaliz, chicles, snacks, pastas alimentarias, pienso, galletas o golosinas entre otros.

Los procesos de extrusión son continuos, altamente flexibles y de alta productividad.

Extrusión o texturización de proteínas de suero lácteo

Estudios llevados a cabo por diversos investigadores concluyen que los puentes disulfuro junto con las interacciones hidrofóbicas no específicas y las interacciones electroestáticas son las responsables de la texturización de las proteínas por extrusión.

La extrusión utiliza fuerza mecánica para romper los puentes disulfuro de las proteínas, enlace muy importante en la estructura de plegamiento y función de las mismas. Se caracteriza por su habilidad para alterar la estructura secundaria (disposición espacial local del esqueleto proteico, por la formación de puentes de hidrógeno entre los átomos que forman el enlace peptídico, un tipo de enlace no covalente) y terciaria (modo en que la cadena polipeptídica se pliega en el espacio) de las proteínas.

La técnica más usada para texturizar las proteínas de suero es la extrusión termoplástica. Esta técnica provee energía térmica y mecánica para mezclar, cocinar, fundir y formar productos con variadas características funcionales. Se comenzó a aplicar en ingredientes lácteos con la finalidad de mejorar las propiedades funcionales y así desarrollar alimentos con nuevas texturas.

La texturización de WPC y WPI utilizando un extrusor de doble tornillo deja en evidencia un desarrollo de ingredientes con posibles usos como sustitutos de grasas, meat extender, en snacks con alto contenido proteico y alimentos enriquecidos en proteína (fortificados).

Los dos tornillos sin fin van presionando las proteínas contra las paredes encamisadas, forzando el paso de la masa de proteína fundida por una pequeña boquilla de salida, la cual alinea dicha masa en dirección al flujo rotacional.

Los alimentos que contienen proteínas de suero en su formulación necesitan ser llevados a temperaturas superiores a los 65°C para que dichas proteínas puedan formar geles y soluciones espesantes. Es esto un limitante en las posibles aplicaciones en aquellos alimentos que contienen ingredientes sensibles a las altas temperaturas.

Por esta razón, es muy interesante la conversión a proteínas de suero de gelificación en frío, las cuales pueden ser utilizadas como espesantes en alimentos donde las altas temperaturas no son deseables para lograr una viscosidad deseada. Un ejemplo, es la texturización de proteínas utilizando fluidos supercríticos.

Texturización de proteínas de suero lácteo por extrusión con fluidos supercríticos

Las proteínas de suero de gelificación en frío mencionadas anteriormente, son producidas a partir de dispersiones de proteínas precalentadas tratadas por adición de sales minerales o por reducción de pH.

El proceso SCFX (extrusión utilizando fluidos supercríticos), se trata de una innovadora tecnología aplicada a los alimentos que trabaja a temperaturas inferiores a los 100°C y que utiliza inyección directa de SC-CO₂ (dióxido de carbono supercrítico).

El proceso consiste en:

- Desarrollo de una estructura de retención de gas a través de un tratamiento conjunto de temperatura y fuerza mecánica (corte o cizalla)
- Inyección de CO₂-supercrítico en la estructura y mezcla en el barril del extrusor para crear una solución saturada
- Nucleación de las células inducida por la inestabilidad termodinámica producida por una repentina caída de presión en la boquilla de salida del extrusor
- Crecimiento de las células y expansión del extrudado a la salida del extrusor cuando toma contacto con la presión atmosférica

El estado supercrítico del CO₂ se alcanza cuando es sometido a altas presiones y temperaturas. Como resultado, se obtiene un fluido con propiedades híbridas entre un líquido y un gas. Lo que lo convierte en un fluido de amplia aplicación, en distintos procesos.

Además, bajo condiciones cuasi-críticas exhibe propiedades solventes atractivas, no es tóxico ni inflamable, y tiene bajo costo.

Al analizar el esquema de equilibrio de fases se puede ver que los tres estados de la materia se encuentran separados por líneas que representan los equilibrios sólido-líquido o de fusión, sólido-gas o de sublimación y líquido-gas o de vaporización. El punto triple, es donde coexisten los tres estados de la materia.

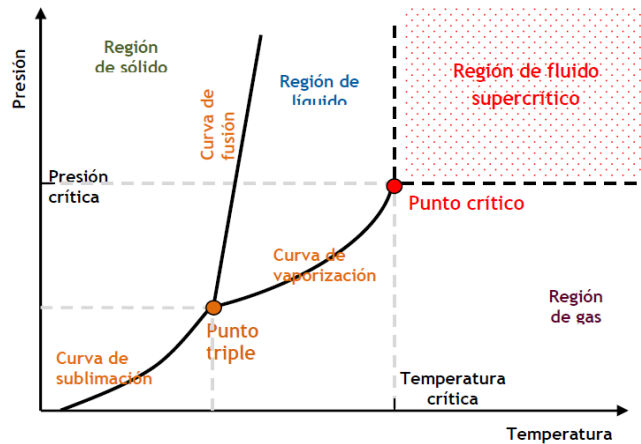


Figura 5. Esquema de equilibrio de fases.

Fuente: Reid, et al, 1987

No existe una línea que delimite la zona del estado supercrítico. Cuando se calienta una mezcla líquido-vapor a volumen constante, la densidad del líquido disminuye y la del gas aumenta hasta que en el punto crítico estas se vuelven iguales y la interfase que las separa desaparece. Es en este momento cuando se llega al punto crítico, en donde la presión y la temperatura del gas y del líquido son indistinguibles, por encima de éste los fluidos presentan características de ambas fases, propiedades similares a las de los gases como su gran capacidad de difundir a través de un medio (difusividad), y otras que los asemejan más a los líquidos como su alta densidad.

Cada fluido tiene un punto crítico característico, existiendo para cada uno un valor de presión y de temperatura a partir de los cuales se comporta como fluido supercrítico. Los más interesantes desde un punto de vista industrial son aquellos que no requieren presiones ni temperaturas demasiado elevadas, y por lo tanto costosas de alcanzar. Para el caso del CO₂ supercrítico:

Tabla VI. Parámetros del CO₂ en su punto crítico.

Solvente	Peso molecular	Tº crítica	Presión crítica	Densidad crítica
	g/mol	K	MPa (atm)	g/cm ³
Dióxido de carbono (CO ₂)	44,01	304,1	7,38 (72,8)	0,469

Fuente: Reid, et al, 1987

Una investigación sobre la caracterización reológica de las proteínas de suero texturizadas a través del proceso de SCFX (*Manoi y Rivzi, 2008*) demostró que la extrusión de proteínas de suero a través del proceso que utiliza fluidos supercríticos, en un ambiente muy alcalino o muy ácido combinado con un cizallamiento controlado y calor, en presencia de sales minerales (CaCl_2 y NaCl) y SC-CO_2 (dióxido de carbono supercrítico) permite obtener nuevos productos de proteína de suero con únicas propiedades gelificantes y funcionales (cold-setting gel).

Otros estudios demuestran que la conformación de las proteínas y las interacciones proteína-proteína se ven fuertemente afectadas por el pH.

En general, el tratamiento alcalino disminuye la solubilidad de las proteínas debido a la formación de puentes disulfuro. Los productos resultantes poseen una estructura fibrosa lo que permite su utilización como “meat analog” (sustitutos de la carne). Por otro lado, un tratamiento ácido muestra una proteína con mayor solubilidad, produciendo una proteína texturizada con disposición no orientada de sus fibras. Este tratamiento permite obtener, por ejemplo, un TWPI microparticulado con una textura suave y un alto contenido de pequeñas partículas.

Lo que abre nuevos caminos para utilizar proteínas de suero texturizadas como agentes gelificantes o espesantes en la formulación de los alimentos en un amplio intervalo de temperaturas.

Beneficios del uso de fluidos supercríticos en el proceso de extrusión

El uso de fluidos supercríticos en el proceso de extrusión conlleva varios beneficios:

1. Mezclado simultáneo de sabores y nutrientes a bajas temperaturas.
2. Extracción de componentes indeseables.
3. Aplicación de una menor energía mecánica y como resultado una disminución notable en el daño organoléptico y nutricional de las proteínas.
4. Mediante una inyección controlada del fluido se puede controlar la expansión y textura del producto.
5. Revestimiento más eficiente de la capa proteica final.
6. Menor viscosidad del producto final.

7. Al mantener colores y sabores se elimina un proceso posterior del extruido en el proceso industrial como lo es el agregado de saborizantes, aromatizantes y colores.
8. Obtención de un producto final que tiene la capacidad de gelificar a temperatura ambiente.

Know-How

Diversas experiencias demuestran la habilidad de los derivados de proteína de suero en polvo para formar agentes espesantes a temperatura ambiente. Algunas de ellas se basaron en la producción de dichos derivados por acidificación de soluciones de WPI o WPC a pH 2.89 (Manoi, Rizvi, 2008c). Las soluciones fueron luego calentadas a 80°C durante 3 horas y liofilizadas o secadas por pulverización para producir los derivados, gel seco de proteína de suero en polvo. En dicha experiencia quedó demostrado que el desplegamiento y la agregación de la proteína son particularmente sensibles al pH y las fuerzas iónicas hacen a su dependencia de las interacciones electrostáticas, lo que resulta en diferentes estructuras de gel.

El proceso de extrusión con sus tornillos de cizallamiento (corte) y calentamiento pueden también alterar la conformación estructural de las proteínas globulares. Esto ocurre a través de la desnaturalización parcial de la proteína, exponiendo de este modo los grupos reactivos que normalmente están enterrados en las proteínas nativas. Se cree que el proceso de extrusión de proteínas de suero lácteo en presencia de medio ácido o alcalino imparte cambios conformacionales y reológicos que llevaría a nuevas propiedades funcionales. Sin embargo, existe información muy limitada sobre la funcionalidad y el rendimiento reológico de las proteínas de suero lácteo (WP) modificadas por proceso de extrusión.

Pocos investigadores han abordado la texturización de WP por extrusión para su uso como agentes de gelificación en frío. Estas experiencias en particular, enfocan su estrategia en modificar proteínas de suero lácteo gelificantes y sus propiedades funcionales utilizando un nuevo proceso de extrusión con fluidos supercríticos (SCFX).

Un interesante estudio realizado en el año 2008 por los investigadores Manoi y Rizvi, consistió en someter una mezcla de polvo, comprendida por (en peso) 94% de proteínas de suero concentrada (WPC 80), 6% de almidón de maíz pre gelatinizado, 0.6% de CaCl₂ y

0,6% NaCl a una extrusión utilizando fluidos supercríticos (SCFX). La mezcla fue extrudada a 90°C en un rango de pH de 2.89 a 8.16 con 1% (db) de dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) y un 60% de humedad. Las muestras de texturizado a base de proteína de suero concentrada (TWPC) se secaron, obteniéndose un polvo, el cual fue reconstituido en agua y estudiado usando varios estudios reológicos. La mayoría de las muestras de TWPC exhibieron un comportamiento de fluidificación por cizalla y espectros mecánicos típicos de un gel débil.

El texturizado de proteínas de suero concentrado (TWPC) producido bajo extremas condiciones de acidez a pH 2.89 y SC-CO₂, alcanzó el más alto valor de viscosidad aparente, observando que el proceso SCFX transforma WPC en un producto con características de gel de fijación en frío, que puede ser utilizado como texturizador de alimentos en un amplio rango de temperaturas.

Requerimientos de materias primas e insumos

Mezcla:

- 94% WPC 80 pre hidratada (81,5% proteínas, 5,5% grasa, 4% humedad y menos de 3% de cenizas)
- 6% Almidón de maíz pre gelatinizado
- 0,6% CaCl₂
- 0,6% NaCl

Extrusor:

- Extrusor doble tornillo escala-piloto: TX-52 Magnum (Wenger)
- L/D 28.5:1 (relación longitud-diámetro)
- 4.5 heads
- Diámetro del barril 52 mm
- Sistema de fluido supercrítico (escala planta piloto) para inyectar SC-CO₂ a través de válvulas de inyección alrededor del barril extrusor.

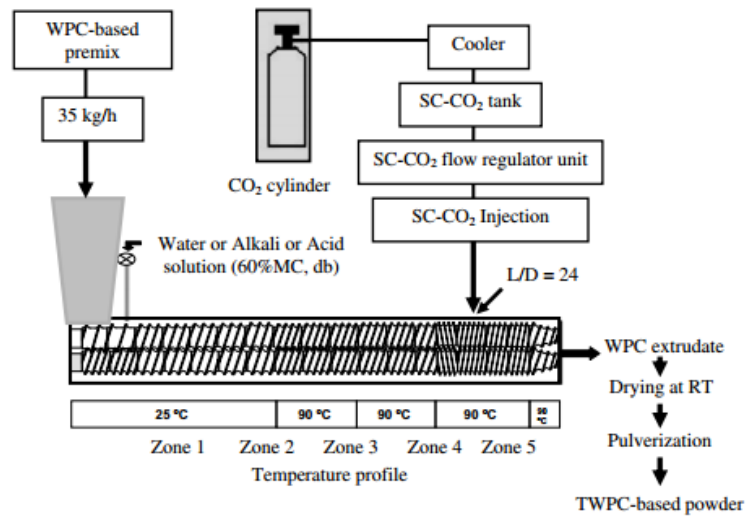


Figura 6. Esquema de texturización de WPC por extrusión usando fluido supercrítico

Fuente: K. Manoi, S.S.H. Rizvi / Food Research International 41 (2008)

Información indispensable para la Ingeniería básica

Condiciones de extrusión:

- Velocidad del tornillo 180 rpm
 - Perfil de temperatura en el barril hacia la boca de salida: 25°, 90°, 90°, 90°, 90°C
 - Diámetro de salida: 1.2 mm
 - Velocidad de alimentación en seco: 35 kg/h
 - Energía mecánica específica: 57 Wh/kg
 - HCl 15% v/v
 - NaOH 1.67% p/v
 - 1% CO₂ supercrítico
 - 60% de humedad
 - Rango de pH entre 2.89 y 8.16
- } Agentes de ajuste de pH

Proceso Productivo

Afizah, M.N., Ruttarattanamongkol, K. & Rizvi, S.S.H. 2012 en su trabajo de investigación obtuvieron el TWPC80 mediante un proceso de extrusión utilizando fluido supercrítico (SCFX). El WPC80 se pre hidrató a un 10% de humedad (base húmeda). Se agregó almidón de maíz pre gelatinizado al WPC80 hidratado obteniéndose una mezcla de 94% WPC y 6% almidón. El almidón de maíz pre gelatinizado, se agrega a la mezcla como ligante por su capacidad de formar puentes hidrógeno, para mantener la estructura de las proteínas en los productos extrudados. Posteriormente se agregó a la mezcla CaCl_2 (Cloruro de Calcio) y NaCl (Cloruro de Sodio).

Para extrudar esta mezcla pre acondicionada se utilizó una extrusora Wenger TX- 52 Magnum doble cizalla. El proceso de extrusión se realizó a una velocidad de 180 RPM con una alimentación de 35 Kg/h. La presión se mantuvo entre 10 y 15 Mpa con inyección continua de SC-CO₂. Se adiciono una solución de HCl para lograr alcanzar un pH aproximado de 3. La temperatura del producto final fue de 90°C.

Influencia de la acidez en la obtención de TWP

Reología

La mejora en la viscosidad aparente se demostró en la mayoría de las muestras con ajuste de pH. Esto indica un incremento en el despliegue y desnaturalización de las proteínas globulares cuando el pH de WPC es alterado. (*Rattray, Jelen, 2005*).

El TWPC producido en condiciones extremas de acidez (pH 2.89) alcanzó el valor más alto de viscosidad aparente, mientras que aquellos producidos a pH 6.10 y 8.16 exhiben valores de viscosidades aparentes mucho más bajos. A pH 2.89, la viscosidad aparente de WPC mejoró 124 veces que el WPC sin procesar. (*K. Manoi, S.S.H. Rizvi /Food Research International 41, 2008*).

También en diversos estudios se pudo evidenciar que inyectando SC-CO₂ en las diversas muestras de WP las cuales ya tuvieron un ajuste previo en su acidez mejoraron la viscosidad aparente del TWPC final. Posiblemente influenciado por en las interacciones hidrofóbicas frente a los enlaces no covalentes, como puente hidrogeno intermoleculares e interacciones electrostáticos. Dichas interacciones son importantes en hidrocoloides para que funcionen como agentes espesantes en algunos productos alimenticios como aderezos para ensaladas y salsas (Lang, Rha, 1981).

Cuando se inyecta dióxido de carbono supercrítico en la matriz de las proteínas de suero lácteo extrudado, es probable que la estructura porosa de las mismas se deba a la expansión del SC-CO₂ a la salida del extrusor, momento en que la presión se iguala con la presión atmosférica. Es posible que esto cause una rápida y gran hidratación del TWPC, incluso a temperatura ambiente. Las fuerzas electrostáticas de repulsión entre cargas iguales llevan a una estructura más expandida y fácilmente hidratada, que conduce a un gel de estructura más fuerte, tal como se ha visto en algunas muestras texturizadas.

Capacidad de Retención de agua

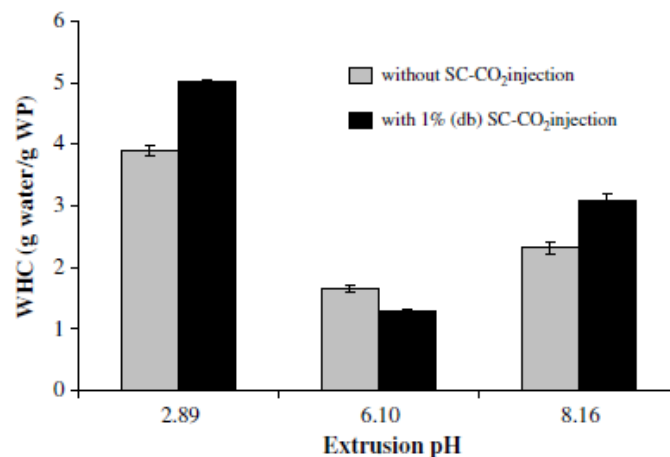


Figura 7 Capacidad de retención de agua (CRA) de muestras de TWPC seleccionadas, a 25°C.

Fuente: K. Manoi, S.S.H. Rizvi / Food Research International 41 (2008)

La muestra producida a pH 2.89 y con adición de SC-CO₂ presentó el valor de CRA más alto. Esto puede explicarse por el máximo de interacción solvente-proteína en extrema condición de acidez debido al despliegue de las cadenas poli peptídicas, lo que permitió la exposición de las cadenas laterales de los aminoácidos más reactivos y, por lo tanto, favoreció la unión de agua.

A un pH alrededor de 6.10, sin ajuste de pH, es probable que ocurran menos interacciones proteína-agua debido a la neutralización de cargas en las cadenas laterales de los aminoácidos. Bajo condiciones alcalinas, la insolubilidad de las proteínas de suero lácteo aumenta debido a una mayor proporción de proteínas que se polimeriza a moléculas de mayor peso y grandes agregados, lo que resulta en un gel particulado y opaco (*Onwulata, 2006*).

Aplicaciones de las proteínas texturizadas de suero lácteo

Si bien se trata de un proceso novedoso, ya cuenta con varias aplicaciones en la industria alimenticia, pudiéndose ampliar en un futuro cercano.

Aplicación en la Industria cárnica: Dicha industria guarda una elevada proporción entre el costo de las materias primas y el costo total de la producción. La misma llega a ser del 90% - 95% en el caso de elaboración de la materia prima (faena, despiece) y más del 70% del total en la elaboración de productos cárnicos en donde se emplean ingredientes de menor costo, pero el alto costo de la materia prima cárnica eleva su costo promedio.

Es por esto que resulta clave para la industria cárnica, introducir materias primas alternativas, reemplazantes de la materia prima cárnica, para reducir sus costos.

Para lograr este objetivo, se utilizan productos extensores (“meat extender”) o productos sustitutos (“meat analog”) tanto en productos crudos como tratados con calor. La gran diferencia que existe entre ellos es que los extensores, como puede ser en este caso la proteína de suero texturizada con tratamiento alcalino, tiene un mayor aporte proteico. Conservando así el valor nutricional del alimento. Mientras que los productos sustitutos solo aportan la función de ligar agua.

El empleo adecuado de las proteínas de suero permite obtener rendimientos mayores (con un 5% de proteína texturizada se pueden sustituir entre 10 y 12% de carne) con

menores costos, sin sacrificar el valor nutricional del producto que se está elaborando. Esto se obtiene gracias a las propiedades funcionales que presentan las proteínas de suero: alta capacidad de retención de agua, alta viscosidad y capacidad de formación de geles.

Por lo tanto, el empleo de la proteína de suero como “meat extender” le permite al elaborador de productos cárnicos, obtener una mayor cantidad de producto, con la misma cantidad de carne.

Otra interesante razón para incorporar proteína de suero texturizada en la elaboración de productos cárnicos es reducir el porcentaje de grasa en los mismos. En este caso, actúan simulando algunas características de la grasa pero no todas, ya que su funcionalidad imitando la grasa es limitada. Por ejemplo, no se comportan de la misma manera a elevadas temperaturas.

A su vez, mejoran las características de la carne. Una carne jugosa y tierna se considera una carne de alta calidad, es por esto que la industria cárnica incorporó el agregado de agua a sus procesos. Pero esto hace necesario el agregado de proteínas con alta capacidad de retención de agua, como es el caso de las proteínas de suero texturizadas, que además reducen el encogimiento por cocción.

También sus propiedades para estabilizar la emulsión carne-grasa hacen que sean un componente no cárnico interesante. Cuando la carne de músculo se mezcla con grasa en algunos productos cárnicos (especialmente en carne picada) es necesario utilizar proteínas para estabilizar la emulsión carne-grasa.

Por otra parte, las proteínas de suero se añaden a productos cárnicos tratados con calor con el fin de mejorar las características organolépticas como textura, color, sabor y, en general la calidad del producto final.

Aplicaciones en la Industria del yogur: "Chips" de proteína de suero. Son partículas extruidas, infladas y livianas, producidas con WPC (proteína de suero concentrada) o WPI (proteína de suero aislada) y almidón. Disponibles en variadas concentraciones de proteína (20 a 80%) y diferentes tamaños, formas, sabores y colores. Los chips de proteínas de suero ofrecen una gran oportunidad para dar más nutrición, textura original, e incluso diversión, a los yogures.

Ayudan a mejorar tanto la textura como el sabor, impactando positivamente en las formulaciones. A su vez, mejoran la capacidad de retención de agua del yogur, son ideales

para incorporar en yogures aireados, yogures tipo smoothie y yogures en botella.

Además, al ser altamente solubles ayudan a la dispersión de otros ingredientes en las formulaciones de yogur, tales como saborizantes, edulcorantes, vitaminas y minerales.

Pueden ser utilizados como sólidos de bajo costo, agentes de volumen y reemplazantes de grasa contribuyendo a la suavidad y a la sensación cremosa en el producto terminado.

Formulación de yogur bajo en grasa: Las proteínas texturizadas del suero de leche pueden aumentar las propiedades de textura de los yogures bajos en grasa. La adición de proteínas texturizadas provoca un aumento en la firmeza y viscosidad, esto se debe a que hay una mayor interacción entre partículas.

El problema que existe con este tipo de yogures es que debido a su poca cantidad de grasa es la pérdida de viscosidad y estructura lo que ocasiona además una apariencia, textura y sensación en la boca alteradas. En la industria se utilizan hidrocoloides y estabilizadores para contrarrestar esta pérdida de propiedades características del yogur, la proteína texturizada puede suplantar estos productos.

Aplicación en barras nutritivas: Las barras de granola con proteína añadida son características por su textura, se formulan utilizando avena, arroz crujiente, nueces y otros ingredientes. Los cuales se unen con jarabes de azúcar, miel o maíz.

Al ser un producto que se extrude en frío, es necesario que se formulen con una actividad acuosa menor a 0.60.

Una barra de granola típica tiene entre 6-7% de proteína, mientras que la barra de granola con proteína añadida puede tener hasta un 30% de proteína. Para mantener la estructura crujiente se utiliza la proteína de suero extruida que puede sustituir los productos de arroz crujiente.

Al comparar el nivel de proteína en una barra hecha con 100% de arroz crujiente contra una barra hecha con 100% de proteína de suero texturizada (80% proteína) se observa la importante contribución de las proteínas texturizadas de suero en las barras energéticas. Al utilizar proteína de suero texturizada, el nivel de proteína aumenta de un 3% a un 23%.

Básicamente, las ventajas de aplicar proteína de suero texturizada en barras nutritivas es que añade variedad de textura y además equilibra la humedad con el tiempo.

La proteína de suero texturizada también se utiliza en formulaciones de *barras horneadas* para aumentar el contenido de proteína y para modificar la textura de la barra. Si bien su proceso es similar al de extrusión en frío con respecto al mezclado y formado de la barra, las barras horneadas requieren del horneado para obtener su textura final.

Se formulan como un alimento de humedad intermedia en donde la humedad final puede ser de 4-8%, pero la actividad del agua tendría que estar bajo el 0.60 para prevenir el desarrollo de hongos y levaduras.

Las barras a base de granos tienen bajo niveles de proteínas. Una barra de cereal típica puede contener un 2.5% de proteína. Con el agregado de proteína de suero texturizada se aumenta potencialmente el nivel de proteína de la barra terminada a 8-10% y se reducen los carbohidratos en una cantidad equivalente.

Otro tipo de barra a base de granos que pueden beneficiarse con el agregado de proteína de suero texturizada son las *barras de desayuno*. Estas contienen generalmente un 6% de proteína. Comparadas con las barras de cereal típicas, tienen proteína adicional porque no contienen rellenos de frutas pero sí son parte de su formulación ingredientes lácteos y/o nueces, que contribuyen al contenido de proteína.

El agregado de proteína de suero texturizada ayudará a adicionar proteína y aumentar la densidad de nutrientes de una barra diseñada para reemplazar el desayuno o una comida.

Aplicación como alimento balanceado para cerdos: Especialmente formulado para ser utilizado como primer alimento sólido en cerdos, desde la segunda semana de vida hasta que alcancen los 8 o 10kg o 35 días de vida. Debido a su contenido de aminoácidos en forma de péptidos, los cuales son altamente bio disponibles apoya al rápido crecimiento de los cerdos durante el periodo crítico de destete. Por su textura y contenido es un producto muy apetecible para estos animales, lo cual logra un aumento en la ingesta del alimento.

El aumento del peso luego del periodo de destete tiene un marcado impacto en la salud del cerdo y en su peso final.

Por las características nutricionales y organolépticas de la TWPC y TWPI es un eficiente reemplazo del plasma bovino, harina de carne y harina de soja en la alimentación de cerdos.

Aplicación como alimento para pollos: En los pollos de engorde, el beneficio de los péptidos es muy importante ya que ayuda al desarrollo del intestino en los primeros días de crecimiento de los mismos. Siendo el intestino es el primer órgano de defensa inmunitaria que logran desarrollar. Por lo tanto, cuanto más rápido sea el desarrollo de dicho órgano, menor mortandad se observa y se obtiene una cría más eficiente.

Tanto el TWPC como el TWPI pueden ser excelentes sustitutos de la harina de carne y harina de soja para la inclusión de proteína en la dieta de los pollos.

Agregado a snacks saludables (productos extruidos de expansión directa a base de harina de maíz, papa y arroz): Diversos estudios demuestran que el agregado de proteína de suero concentrada (WPC) a la mezcla que se ingresa en el extrusor para la producción de snacks mejora el perfil nutricional del producto final. La mezcla se funde en el interior del extrusor y se expande directamente a la salida del troquel o placa perforada que se encuentra al final del extrusor.

La inclusión de pequeñas cantidades de proteína (menos del 5%) mejora las propiedades físicas de los productos extruidos. En la industria de cereales el proceso de extrusión es de los más utilizados, de todas maneras la fortificación de los productos extruidos con WPC ha sido limitada debido a los poco favorables resultados que se han obtenido cuando la inclusión ha sido significativa (más del 10%). La inclusión de WPC en esas cantidades tiende a reducir las propiedades de expansión de los productos. De todas maneras estos resultados se obtuvieron por el proceso de extrusión simple. Con el extrusor de doble tornillo se aumenta la transferencia de energía mecánica y se pueden extruir productos con poco contenido de humedad. Con un adecuado control de humedad y estandarización de los productos y materia prima se obtienen productos extruidos con inclusión proteica de primera calidad.

El novedoso proceso de extrusión con uso de fluidos supercríticos (proceso SCFX), ha sido exitosamente utilizado para elaborar snacks saludables con un 60% (p/p) de proteína o más, sin modificaciones químicas. Los estudios asociados encontraron posible la expansión celular uniforme cuando esta se lleva a cabo por debajo de la temperatura de desnaturalización de las proteínas.

El nivel de concentración de SC-CO₂ (dióxido de carbono supercrítico), quien es el agente de expansión, se considera crítico para controlar la expansión y la textura del

producto final. Como así también, el grado de gelatinización del almidón de maíz es otro factor clave para manipular la morfología del producto.

Además, el SC-CO₂ es un disolvente eficaz para ciertos sabores y nutrientes, por lo que el proceso SCFX puede utilizarse para elaborar novedosos snacks saludables con alta densidad de nutrientes y una estructura, textura y sabor únicos.

Aplicación como estabilizante de emulsiones: Uno de las propiedades funcionales más importantes que tiene la proteína texturizada del suero de leche (TWPC) es como estabilizante de emulsiones debido al atributo que tienen de poder adsorber en una fase de aceite- agua. El atributo que tiene este producto se debe a que por medio de la facilidad de adsorber se produce una placa proteica visco-elástica debido a los enlaces de puentes de hidrogeno, interacciones hidrofóbicas y electrostáticas.

La formación y estabilidad de las emulsiones dependen principalmente de las interacciones moleculares de la proteína adsorbida y como esas interacciones son influenciadas por las condiciones ambientales como: pH, presión, temperatura, etc.

Sometiendo a las proteínas a tratamientos térmicos provoca que se obtenga una mayor superficie de contacto de la región hidrofóbica de las proteínas previamente encerrada en la estructura globular nativa de la proteína. Pero existen limitaciones con las temperaturas y los tiempos de aplicación con que se trabaja debido a la desnaturalización de las proteínas.

En la producción de TWPC para el uso de emulsiones en la industria alimenticia el extrusor cumple una función de un bioreactor controlado. Al aplicar en el proceso un fluido supercrítico como lo es el CO₂ se obtienen emulsiones de mejor rendimiento tanto nutricional como industrial ya que sus condiciones organolépticas son mucho más favorables que las que se obtienen mediante la extrusión con vapor de agua.

Aplicación como blend proteico para niños: Debido a que la mayoría de los alimentos a base de almidón, como los cereales tienen una baja densidad nutricional en general, se les adiciona alimentos proteicos para aumentar su calidad nutricional.

El proceso de extrusión en el cual se puede mezclar TWPC o TWPI con cereales, es un proceso en el cual después se seca el extrudado y al final se rehidrata para formar una pasta. Lo que se obtiene es un blend de cereal y gracias a las características fisicoquímicas de las proteínas se obtiene una mejor consistencia en el blend.

Sus usos son como alimento iniciador de dieta para bebés cuando están terminando su periodo de lactancia. Además de cereales como alimentos de fuente de

almidón, también se puede preparar los blends con otro tipo de alimentos que contengan almidón como puede ser la harina de Taro, el cual produce una pasta de mejor consistencia por su pequeño tamaño granular.

Aplicación en alimentos libres de lactosa: La intolerancia a la lactosa es una enfermedad la cual afecta a las micro vellosidades del intestino debido a que el organismo produce muy poca o ninguna cantidad de la enzima lactasa. Esta enzima desdobla la lactosa en glucosa y galactosa y cuando esta enzima falla ocurre una mala digestión y mala absorción.

Existen varios tipos de intolerancia a la lactosa como: deficiencia congénita de lactasa la cual es genética e irreversible, deficiencia primaria de lactasa o con aparición tardía que es la que afecta a la mayoría de la población con esta enfermedad y deficiencia secundaria de lactasa la cual está además relacionada a diferentes patologías adicionales como la celiaquía.

El TWPC y TWPI debido a las operaciones unitarias previas que reciben son productos libres de lactosa y por ello aplicables como fuentes de proteína a productos alimenticios aptos para intolerantes a la lactosa.

Actualidad del mercado y enfoque comercial

En la actualidad toda la industria láctea es consciente de la gran necesidad que existe en buscar nuevos productos y alternativas con respecto al aprovechamiento y valorización del lacto suero y por ende todos sus derivados.

En concreto existen dos puntos fundamentales que accionan la demanda, cada vez mayor, de buscar nuevas alternativas que son: el impacto ambiental y el alto valor nutritivo.

Se estima que con una DBO>30.000 pm y una DQO>60.000 pm es uno de los contaminantes con mayor importancia dentro de la industria alimenticia. 0,25 - 0,30 litros de suero sin depurar equivalen, aproximadamente, a la contaminación de las aguas residuales correspondientes a un habitante en un día. Una industria quesera media que produzca diariamente 100.000 litros de suero sin depurar, está produciendo una contaminación diaria similar a una población de 350.000 habitantes.

La inversión para la depuración es muy cara y las industrias queseras, especialmente pymes, no pueden soportar esta carga. Por otra parte, el agua residual depurada, biológica y mecánicamente, siempre aporta sustancias residuales que contaminan los ríos (sales minerales). Aunque siempre va a ser necesario el tratamiento y deberá llegar en las mejores

condiciones posibles.

La importancia es tan grande que se han buscado alternativas como el bono ambiental que tenga la virtud de desgravar impositivamente a las industrias que demuestren el no volcamiento del suero al medio ambiente, teniendo como fundamental destino algún tipo de industrialización del mismo. El valor del bono ambiental debe estar en relación al mayor costo que implica procesar el suero y venderlo. El alto valor nutritivo y en el cual la reserva de proteínas inutilizada, que según la FAO, podría utilizarse para alimentación humana no se aprovecha debido a que existe una limitada capacidad de inversión por parte de la mayoría de empresas lácteas, no disponen de la tecnología necesaria ya que la actual es no viable para este tipo de industrialización.

Existe un bajo nivel de conocimiento profesional con respecto a estas nuevas alternativas, y en la Argentina, lastimosamente, la mayoría de empresas de mediano y pequeño tamaño no están al tanto del alto valor nutricional que tiene el suero lácteo. Se estima que en la Argentina el 60% del suero tiene como destino final: efluentes y alimentación animal.

Planta elaboradora tomada como punto de análisis

Es una empresa creada en 1991 que desde entonces se dedica a la elaboración de productos lácteos Premium. Se encuentra ubicada a 90 km de la ciudad de Buenos Aires, cerca de los históricos pueblos de Luján y Capilla del Señor.

Actualmente elabora productos tanto para mercado interno como para exportación a países del Mercosur, Unión Europea, EEUU, entre otros.

La planta cuenta con una capacidad operativa de 800 toneladas por mes de dulce de leche, 100 toneladas por mes de queso mozzarella, 80 toneladas por mes de yogur, 40 toneladas por mes de queso crema y 60 toneladas por mes de quesos duros trozados.

El suero lácteo resultante de la elaboración de todos sus quesos representa para la firma, y para cualquier otra empresa que desarrolle esta misma actividad, uno de los mayores problemas con los que debe lidiar por ser considerado uno de los subproductos alimenticios más contaminantes.

Se sabe de manera aproximada que de 10 litros de leche fresca se obtiene 1 kg de queso y 9 litros de suero lácteo. Conociendo esta relación y teniendo en cuenta los números de

producción de todas sus variedades de quesos y yogur, se puede suponer una producción de 2.520.000 litros de suero fresco por mes. De este suero fresco, 1.440.000 litros pertenecen al tipo de suero dulce, proveniente de la elaboración de queso mozzarella y quesos duros, mientras que los restantes 1.080.000 litros de suero son del tipo de suero ácido, como resultado de la elaboración de queso crema y yogurt.

Si bien actualmente, una parte del suero obtenido es deslactosado (**Anexo B**) para ser aprovechado en la elaboración del dulce de leche comercializado bajo una segunda marca de formulación más económica, la gran parte restante del suero es retirada por los criaderos de cerdo para alimentación animal.

A su vez, la planta cuenta con tres piletones para el tratamiento de efluentes líquidos. Dos piletones anaeróbicos y uno facultativo. Pero existe la problemática de que el suero resultante no puede ser descartado por esta vía, ya que se sobrecargaría el sistema.

Por lo comentado anteriormente, la situación actual de la empresa requiere de una solución definitiva a la problemática presentada por este residuo.

La texturización de proteínas de suero a través del proceso de extrusión significaría, además de un problema menos para la planta, un nuevo ingreso económico al prestar un servicio totalmente innovador en el país, brindando una solución a todas aquellas empresas elaboradoras de quesos que presenten este mismo inconveniente con el desecho que se obtiene de dicha actividad.

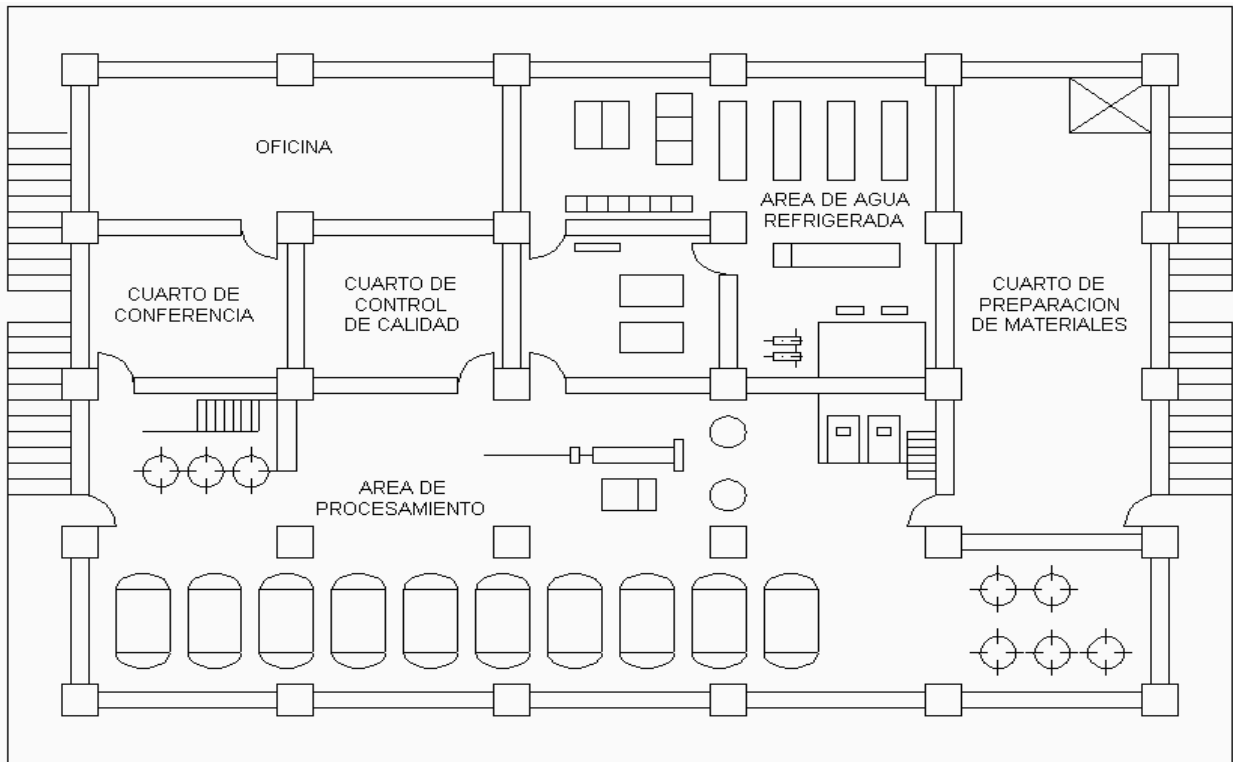


Figura 8. Layout Planta Láctea

Fuente: productoslacteos7serros.com

Análisis FODA

FORTALEZAS

- Recursos:

Materia Prima: Existe una total disponibilidad de la materia prima esencial para desarrollar el producto extrudado ya que, para la empresa en estudio al igual que para el resto de las empresas lácteas, es un problema de contaminación y medio ambiente. Además de la gran disponibilidad, forma parte de un proceso que soluciona la gran problemática de contaminación. Al ser un residuo de la industria quesera, el costo de adquisición es nulo a bajo.

Empresa y Elaboración: Se dispone del capital humano necesario desde operarios hasta profesionales idóneos con experiencia en la industria láctea.

Capacidad: En función de los volúmenes de producción de quesos de la planta elaboradora, existe una capacidad inicial de producción de extrudado, directamente relacionada con la obtención de suero. Esta capacidad puede ir variando conforme varíe la demanda. Existe una capacidad potencial muy flexible.

- **Producto:**

Innovación: Un producto completamente nuevo, inexistente en el mercado nacional y relativamente nuevo en el mercado internacional. Ofrece una nueva alternativa para varios segmentos dentro de la industria alimenticia en la cual existen grandes necesidades y una búsqueda constante de productos que ofrezcan los beneficios que este producto aporta. Existe una gran aceptación por parte de la industria a productos innovadores como este, sobre todo cuando sus beneficios son significativos y a un costo relativamente bajo.

Producto apto para personas Lactosa intolerante: Al utilizarse suero deslactosado para la extrusión, es un producto que puede ser consumido por aquellas personas no tolerantes a la lactosa.

Posicionamiento: Se trataría de la primera empresa alimenticia posibilitada de desarrollar este tipo de producto partiendo de un residuo o desecho de la industria lo que conlleva un fuerte posicionamiento y ventaja competitiva en el mercado nacional ya que la materia prima es abundante, sería la única planta con la tecnología y conocimientos necesarios para desarrollarlo.

Sustituto: Existen algunos productos en el mercado nacional como internacional que ofrecen beneficios y características similares, y de los cuales hay algunos que están ya posicionados en el mercado como: plasma bovino, harina de carne, texturizado de soja, harina de pescado, hidrolizado de pescado. En muchos casos existen problemas con la disponibilidad de estos productos como en el caso del plasma bovino, y al ser ingredientes básicos e indispensables en la formulación de alimentos existe la necesidad de tener productos alternativos de similares características.

En el caso de la harina de carne que es un producto que ha perdido mercado debido a la prohibición por parte de organismos de control (SENASA) de emplearlo en la formulación de muchos subproductos, lo que constituía una fuente de proteína

animal excepcional, pero lamentablemente muy riesgosa en transmisión de enfermedades como la encefalopatía espongiforme bovina o el mal de la “vaca loca”. Es un nicho ideal para la inclusión del tWPC.

Buen competidor: de otras proteínas texturizadas de origen vegetal, sustituto de productos de arroz crujiente, sustitutos de hidrocoloides y estabilizantes.

OPORTUNIDADES:

El poder procesar el residuo proveniente de la industria quesera, genera una gran oportunidad para la empresa en cuanto a que dejaría de ser una problemática para pasar a ser un eslabón más de la producción. El cual le da un valor agregado adicional. Este producto pasa a ser una materia prima de gran aplicación para la empresa elaboradora. Existe la posibilidad de que la empresa ingrese en nuevos nichos del mercado y también ofrezca un servicio de solución para el resto de empresas lácteas. Además de que exista una oportunidad de aumentar el beneficio económico de la empresa existe un beneficio ambiental. Para la empresa se presenta como una ventaja competitiva, al ser la primera en producir este tipo de productos y tener el know how del mismo.

DEBILIDADES:

Se requiere de una importante inversión inicial para adecuar la planta ediliciamente y para la incorporación de los nuevos equipos.

Por otro lado, no existe experiencia productiva previa a escala industrial para el desarrollo de este producto, no existe historial de uso y parámetros aplicables a la maquinaria y tecnología necesaria. Se debe acoplar la maquinaria y tecnología al producto sin antecedentes por lo que conlleva a elaboración de pruebas.

AMENAZAS:

El poco conocimiento que existe sobre los beneficios del suero lácteo y aún más el poco conocimiento que existe sobre los beneficios de la proteína texturizada del suero lácteo puede ser una amenaza para la decisión de inversión en la tecnología necesaria.

Conclusiones

Los productos texturizados de proteína de suero concentrada demuestran tener capacidad de dispersión instantánea y habilidad para formar geles con la característica de gelificar en frío, sin necesidad de someterlos a altas temperaturas. Lo que los vuelve un ingrediente muy interesante para aquellos alimentos con ingredientes sensibles al calor.

La inyección de 1% SC-CO₂ a los polímeros de proteína con ajuste de pH mejora significativamente la viscosidad y otras propiedades viscoelásticas en la mayoría de las proteínas texturizadas de TWPC. La incorporación de SC-CO₂ en el TWPC producido en extremas condiciones de acidez muestra las mejores características reológicas, 258.000 y 275.000 veces más viscosidad aparente que el WPC sin procesar. A su vez, la adición de SC-CO₂ incrementa la capacidad de retención de agua en aquellas que sufren un ajuste de pH.

Por todo esto, se concluye que el proceso de SCFX (extrusión con inyección de CO₂ supercrítico) de proteínas de suero lácteo en condiciones altamente ácidas o alcalinas, combinado con cizallamiento controlado y calor, en presencia de sales minerales (CaCl₂ y NaCl) y con adición de SC-CO₂ genera favorablemente nuevos ingredientes de proteínas de suero con propiedades gelificantes y funcionales únicas, lo que abre nuevos caminos para ser utilizados como espesantes o agentes gelificantes en la formulación de los alimentos.

Este trabajo de investigación encuentra que la planta tomada como punto de análisis en un principio, capaz de adoptar esta nueva tecnología para revolucionar el mercado y la industria láctea al incorporar estos novedosos ingredientes a las composiciones de sus alimentos, no resulta viable de aplicar por los siguientes motivos:

- No cuenta con capital necesario para tal inversión.
- El país aún no cuenta con campo de aplicación lo suficientemente grande como para asegurar una total aceptación de la tecnología.
- No se cuenta con personal con conocimiento suficiente sobre el tema de secado y extrusión, por ser relativamente nuevo.
- Se trata de una planta elaboradora de queso y dulce de leche muy pequeña como para incorporar dicha tecnología exclusivamente al suero producido por ellos.

- Las instalaciones no permiten la incorporación de nuevas maquinarias. Lo que requiere de una inversión para ampliar la planta.

Bibliografía

- Baró, Jiménez, Martínez-Férez y Bouza. (2001). **Péptidos y proteínas de la leche con propiedades funcionales**. Dpto. Ingeniería Química, Universidad de Granada.
- <<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/03/09/183869.php>>
- Blanno (Enero/Febrero 2006). **Extensores cárnicos: Consideraciones de Funcionalidad y Valor Nutricional**. Alimentaria On Line [en línea]. <http://www.alimentariaonline.com/media/MLC010_EXTENCARNICOS_F.pdf>
- **Características generales sobre el uso del suero de queso en la Provincia de Santa Fe**. INTI-INTA. (2012) Tecnología Láctea Latinoamericana N°73. <http://www.inti.gob.ar/lacteos/pdf/cuadernillo_Suero_de_Queso.pdf>
- Cho and Rizvi. (2008). **New Generation of Healthy snack Food by Supercritical Fluid Extrusion**. Journal of Food Processing and Preservation.
- **¿Cómo conservar el valor nutricional?** En: alimentación.org.ar [en línea]. Argentina. 2006-2013. <http://www.alimentacion.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=1281:icomo-conservar-el-valor-nutricional&catid=35:alimentos&Itemid=54>
- Cribb (2008). **Las proteínas del suero de leche de los estados unidos y la nutrición en los deportes**. U.S. Dairy Export Council [en línea]. Estados Unidos. <http://www.usdec.org/files//PDFs/2008Monographs/WheySportsNutrition_Spanish_Mexico.pdf>

- Ecoalimenta (2010). **Aplicación de ingredientes de suero en yogur y bebidas con yogur (2010).** <http://www.infoalimentacion.com/noticias/2010/1/3457_aplicacion_ingredientes_suero_yogur_bebidas_yogur.asp>
- Gómez López, Aquino Bolaños, Martínez Bustos y Verdalet Guzmán (2013). **Los alimentos extrudidos están por todos lados.** Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana. Volúmen XXVI Número I
- <<http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol26num1/articulos/los-alimentos-extruidos.html>>
- Jaime Valencia M del C. (Marzo/Abril 2008). **El Suero de Quesería y sus Posibles Aplicaciones. Parte 1/3.** Alimentaria On Line. <http://www.alimentariaonline.com/media/MLC023_suero.pdf>
- Jaime Valencia M del C. (Julio/Agosto 2008). **El suero de Quesería y sus Posibles Aplicaciones. Parte 2/3.** Alimentaria On Line. <http://www.alimentariaonline.com/media/MLC025_QUESERIA.pdf>
- Jaime Valencia M del C. (Enero/Febrero 2009). **El suero de Quesería y sus Posibles Aplicaciones. Parte 3/3.** Alimentaria On Line. <http://www.alimentariaonline.com/media/MLC028_SUERO.pdf>
- Johnson (2000). **Whey Protein Concentrates in Low-Fat Applications.** Us Dairy Export Council.
- Jonson, B (2008). **Los productos de suero de leche de estados unidos en salsas y aderezos.** U.S. Dairy Export Council [en línea]. Estados Unidos.
- <http://www.usdec.org/files/PDFs/2008Monographs/WheySnacksAndSeasonings_Spanish.pdf>

- Manoi y Rizvi. (2008). **Rheological Characterizations of Texturized Whey Protein Concentrate-based Powder Produced by Reactive Supercritical Fluid Extrusion.** Food Research International.
- Manoi y Rizvi. (2009). **Physicochemical Changes in Whey Protein Concentrate Texturized by Reactive Supercritical Fluid Extrusion.** Journal of Food Engineering.
- Monti. (1998). **Las proteínas: generalidades y su importancia en nutrición y en la industria de alimentos.** (Ed. Digital) <http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmacuticas/penacchiotti01/capitulo06/01.html>
- Nalesnik, Onwulata, Tunick, Phillips and Tomasula. (2006). **The Effects of Drying on the Properties of Extruded Whey Protein Concentrates and Isolates.** Journal of Food Engineering.
- Negri (2005) **Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad.** 2° edición INTA.
- <<http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/pH-y-acidez-en-leche2.pdf>>
- Onwulata, Konstance, Smith, and Holsinger. (1998). **Physical Properties of Extruded Products as Affected by Cheese Whey.** Journal of Science.
- Owulata, Konstance. (2002). **Viscous Properties of Taro Flour Extruded with Whey Proteins to Simulate Weaning Foods.** U.S. Department of Agriculture
- Owulata, Konstance, Phillips and Tomasula. (2003). **Temperature Profiling: Solution to Problems of Co-Extrusion with Whey Proteins.** U.S. Department of Agriculture

- Onwulata. (2008). **Use of Extrusion-Texturized Whey Protein Isolates in Puffed Corn Meal.** United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Onwulata, Phillips, Tunick, Qi, and Cooke. (2010). **Texturized Dairy Proteins.** Food Engineering and Physical Properties
- Ortuño. (2006). **Introducción a la Química industrial.** (Ed. Reverte) **Cap. 15: la biosfera I: el animal como fuente de materias primas.** Autor: Prof. Dr. José María Brusi.
<<http://books.google.com.ar/books?id=Rkk04SmHTKEC&pg=PA443&lpg=PA443&dq=eliminacion+de+grasa+del+suero+de+queso+por+centrifugacion&source=bl&ots=pzJPFMYZBV&sig=f9vM7gblInzT4ZnKYEe5MSnlqqY&hl=es&sa=X&ei=EbEzUa-GMISe8QSC34HgAg&ved=0CEAQ6AEwAg#v=onepage&q=eliminacion%20de%20grasa%20del%20suero%20de%20queso%20por%20centrifugacion&f=false>>
- Pardo, Menéndez y Giraudo (2011). **Envases biodegradables: una necesidad de compromiso.** Revista La Alimentación Latinoamericana. Año XLI 292
- Parra Huerta (2008). **Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos.**
- <<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>>
- Parzanese (Ficha N°13). **Procesamiento de Lactosuero.** Alimentos Argentinos – MinAgri.
- <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_13_Lactosuero.pdf>
- **Plantas de Membranas (2012).** En: C&D Centrifugas & Decanters-Ingeniería en separación. [en línea]. Santa fe, Argentina.
- <http://centrifugesdecanter.com.ar/plantas_de_memb_.htm>

- Posada, Terán, Ramírez-Navas. (2011). **Empleo de lactosuero y sus componentes en la elaboración de postres y productos de confitería.** La Alimentación Latinoamericana N° 292. Publitec. <<http://www.publitech.com/contenido/objetos/Lactosuero.pdf>>
- **Productos de Suero.** En: GEA Process Engineering S.A. de C.V. [en línea]. México. 2013 <<http://www.gea-niro.com.mx/industrias-servimos/alimentos-lacteos/productos-de-suero.htm>>
- Qi and Onwulata (2011). **Physical Properties: Molecular Structures and Protein Quality of Texturized Whey Protein Isolate: Effect of Extrusion Moisture Content.**
- Rodríguez y Schöbitz. (2004). **Película antimicrobiana a base de proteína de suero lácteo, incorporada con bacterias lácticas como controlador de Listeria Monocytogenes, aplicada sobre salmón ahumado.** Journal of Food Processing and Preservation.
- Souza, Gimenes, Costa y Müller (2009) **Eliminación de Grasas del Suero de Queso para Obtener Proteínas y Lactosa.** Universidad Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/671/1/innova.front/eliminacion_de_grasas_del_suero_de_queso_para_obtener_proteinas_y_lactosa.html?pag_e=1>
- Ukuku, Onwulata and Mukhopadhyay (2012). **Behavior of Escherichia coli Bacteria in Whey Protein Concentrate and Corn Meal during Twin Screw Extrusion Processing at Different Temperatures.** Eastern Regional Research Center, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.

Anexos

Anexo A. Patrón aminoacídico FAO/OMS para una proteína considerada como ideal para niños en edad preescolar (2 a 5 años).

Tabla VII. Valores en gramos para 1000g de proteína

Aminoácido	Gramos
Histidina	19
Isoleucina	28
Leucina	66
Lisina	58
Sulfurados (metionina/cistina)	25
Aromáticos (fenilalanina / tirosina)	63
Treonina	34
Triptofano	11
Valina	35

Fuente: Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos, Recomendaciones nutricionales para el ser humano: actualización, Dr. Manuel Hernández Triana

Anexo B. Coagulación de quesos con enzimas de origen microbiano

El cuajo, o renina, es un complejo natural de enzimas presente en el jugo gástrico de los mamíferos rumiantes para digerir la leche materna y que se utiliza en la producción de queso.

Su función biológica en los mamíferos es la de cuajar la leche, de forma que se relentece su paso por el estómago permitiendo así su absorción. Esta propiedad es la que se utiliza en la producción de queso, el cual es básicamente la cuajada posteriormente tratada. Por ello, el único proceso estrictamente necesario en su producción es el cuajado. Las formas más comunes de realizar la separación de la leche en cuajada y suero son la acidificación (fermentación por bacterias lácticas) y la adición de cuajo. Mediante la primera forma se suelen obtener los quesos frescos, mientras que añadiendo también cuajo los quesos son más duros, secos y curados. En cualquier caso, la cuajada es posteriormente cortada en pequeñas secciones y calentada para facilitar la

extracción del suero. A continuación se añade a un molde donde será prensada perdiendo así humedad y adquiriendo mayor consistencia. Le sigue el tratamiento con sal (salmuera o sal sólida) que mejorará su conservación y resaltará su aroma y textura. Dependiendo del tipo de queso se aplican un gran número de técnicas específicas, que dan las características finales al sabor y a la textura.

El cuajo contiene básicamente dos enzimas: una mayoritaria, la quimosina y otra minoritaria, la pepsina. La potencia de un cuajo se suele referir a la cantidad de quimosina que contiene, y ésta variará en función de la edad del rumiante: los lactantes presentan una relación de 90% quimosina - 10% pepsina, mientras que en adultos es de 10% quimosina - 90% pepsina.

La quimosina es una proteasa de 323 residuos. Es sintetizada por las células del estómago de los rumiantes como pre-pro-quimosina (inactiva) cuya cadena tiene 58 aminoácidos más que la quimosina activa. Se secreta al cuarto estómago como pro-quimosina, también inactiva, tras el corte de 16 aminoácidos. Finalmente a pH ácidos, como el del estómago, se lleva a cabo una proteólisis catalítica de 42 aminoácidos que la convierte en la enzima activa. Su actividad es la de romper específicamente enlaces peptídicos entre la fenilalanina y la metionina de la kappa-caseína de la leche.

La selectividad de sustrato de la quimosina viene determinada por presencia de una zona específica con cargas negativas, que interacciona con las histidinas.

Las bajas temperaturas inactivan esta enzima y las superiores a 45 °C la desnaturalizan. La temperatura ideal para la coagulación de la leche es entre 28 y 37 °C.

La leche está compuesta por carbohidratos (lactosa), lípidos (triacilglicéridos) y proteínas (caseína). Estas últimas son las responsables de la coagulación de la leche. La caseína (alfa, beta y kappa) se encuentra en la leche formando submicelas, unidas entre sí a través de fosfato cálcico, constituyendo así micelas de caseína.

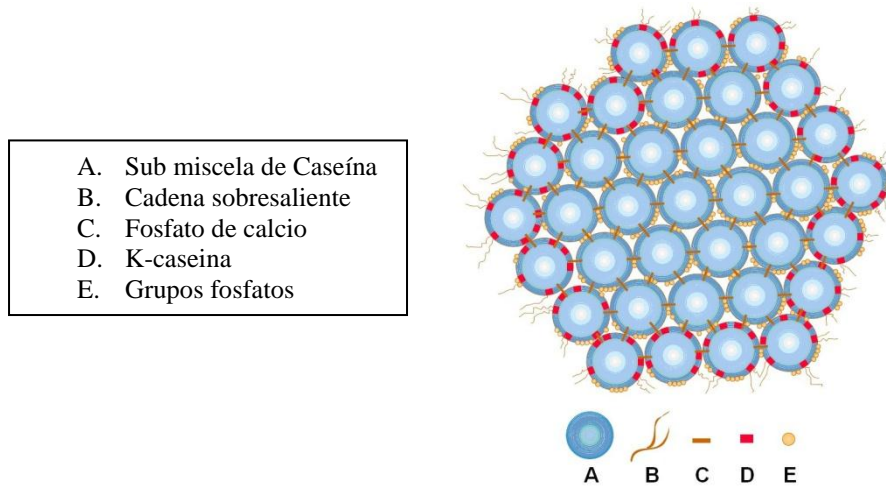


Figura 9. Miscelas de caseína

Fuente: Dairy Processing Handbook

Al añadir el cuajo a la leche, gracias al pH ácido de ésta (6,6), la quimosina es activa e hidroliza el enlace Phe–Met de la kappa-caseína. La proteína queda partida en dos fragmentos: uno insoluble que se mantiene en la micela, y otro soluble que es eliminado de ésta. En presencia de iones calcio, las micelas modificadas se agregan entre sí formando una red tridimensional llamada paracaseína, que precipita. La leche queda así separada en cuajada y suero.

Anexo C. Deslactosado del suero a través de separación por membranas

Las tecnologías de membrana se aplican en la separación de compuestos y consisten en la instalación de membranas semipermeables y en la operación de filtrado por flujo cruzado a presión controlada del material a fraccionar. Como descarga de esta operación siempre se obtienen dos corrientes: el permeado que contiene aquellos compuestos que son filtrados por la membrana semipermeable normalmente se desecha y el concentrado o retenido que se compone de las sustancias aprovechables que se desean mantener en el producto final.

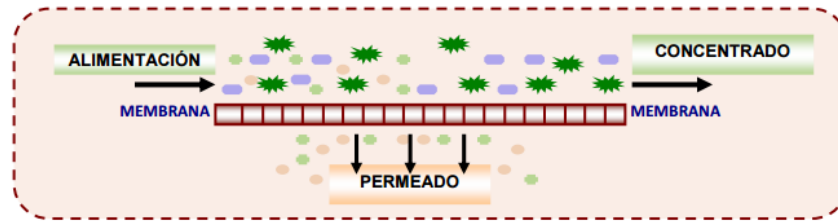


Figura 10. Representación de obtención del permeado

Fuente: Tecnologías para la Industria Alimentaria. Procesamiento de lactosuero. Ficha N° 13

Estas tecnologías se utilizan ampliamente en la industria láctea, por ejemplo en el mejoramiento de las características técnicas de la leche durante la elaboración de derivados lácteos, en la separación de grasa y de lactosa, en la filtración de membrana en productos lácteos con fines microbiológicos y para el aprovechamiento y tratamiento del suero lácteo. Respecto a esto último son varios los tipos de procesos de membrana que se usan en el fraccionamiento y valorización del suero, dependiendo de las características del producto que se quiera elaborar.

Tabla VIII. Que se obtiene de los tipos de procesos de separación por membrana

Tipos de procesos de separación por membrana				
	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	Osmosis Inversa
Concentrado	Grasas y proteínas grandes	Proteínas y grasas	Todos los solutos excepto iones monovalentes	Todos los solutos
Permeado	Agua Minerales Lactosa Proteínas pequeñas	Agua Minerales lactosa	Agua Iones monovalentes	Agua
Rango de presión de operación	10 a 50 psi	30 a 150 psi	150 a 600 psi	200 a 1000 psi

Fuente: Tecnologías para la Industria Alimentaria. Procesamiento de lactosuero. Ficha N° 13

Anexo D. Eliminación de Grasas del Suero de Queso para Obtener Proteínas y Lactosa

Tabla IX. Valores medios encontrados para el suero crudo

Pre tratamiento-Suero	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Flujo Medio (Lh-1m-2)	Cf
SF	25	1	95,33 ± 10,84	0,96
SC15	25	1	149,39 ± 3,68	0,88
	25	2	138,07 ± 6,07	0,96
SC20	25	1	118,37 ± 5,91	0,89
	25	2	130,66 ± 9,67	0,96
SC20 + CaCl ₂	25	1	126,34 ± 6,77	0,81
	25	2	118,90 ± 8,92	0,92

Fuente: Eliminación de Grasas del Suero de Queso para Obtener Proteínas y Lactosa R. R. Souza, M. L. Gimenes, S. C. Costa y C. M.O. Müller; Universidad Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, Bloco D-90, Avenida Colombo N° 5790, 87020-900 Maringá, PR-Brasil

El suero solamente filtrado SF, presenta un menor flujo a través de la membrana de microfiltración, que es una desventaja para el proceso. Los flujos para las otras condiciones de pre tratamiento son del mismo orden de magnitud, pero se observa que para las presiones de 2 bares el coeficiente de Fouling es mayor. Así es preferible operar la microfiltración con la menor presión.

La Tabla XIII muestra los valores medios del contenido de proteínas y lactosa, y los correspondientes porcentajes de pérdida de proteína y lactosa, y de eliminación de grasas, para cada pre-tratamiento.

Tabla X. Contenido y pérdida de proteínas y lactosa, y eliminación de grasa

Pre tratamiento del Suero	Proteína		Lactosa		Grasa (% eliminación)
	Contenido (gL-1)	Pérdida (%)	Contenido (gL-1)	Pérdida (%)	
SF	8,00±0,32	5	41,37 ± 0,91	16	15
SC15	8,00 ± 0,82	5	44,96 ± 7,15	10	60
SC20	7,36 ± 0,73	14	44,58 ± 7,67	10	80
SC20+CaCl ₂	7,21 ± 0,28	10	40,09 ± 0,58	19	80

Fuente: Eliminación de Grasas del Suero de Queso para Obtener Proteínas y Lactosa R. R. Souza, M. L. Gimenes, S. C. Costa y C. M.O. Müller; Universidad Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, Bloco D-90, Avenida Colombo Nº 5790, 87020-900 Maringá, PR-Brasil

El proceso de filtración común (SF) no es un tratamiento eficiente, tomando en cuenta que la eliminación de grasas del suero crudo es muy baja. La centrifugación remueve cerca de 60 a 80% de la grasa. Esta etapa es necesaria en el proceso de aprovechamiento de proteínas y lactosa. Los datos muestran que el suero tratado con cloruro de calcio, a pesar de presentar un menor coeficiente de Fouling, exhibe una mayor pérdida de lactosa (aprox. 19%).

Resistencia de la membrana de micro-filtración

Las resistencias totales y los coeficientes de Fouling son mayores para las condiciones de presión de 2 bar. Para esta presión la resistencia debido a la saturación, es la principal responsable por la resistencia al flujo de permeado. Esta resistencia es menos influyente para presión de 1 bar.

La excepción se presenta cuando el suero es solamente filtrado antes de la permeación. La condición de suero centrifugado y tratado con cloruro de calcio, en 1 bar es la que presenta menor contribución de saturación.

Se puede observar que la mejor condición de operación ocurriría cuando se lleva a cabo el tratamiento con CaCl₂ del suero centrifugado, a 1 bar y 25° C. Es en esta condición se obtienen flujos más altos y un menor coeficiente de Fouling. Por otro lado, bajos las mismas

condiciones, de acuerdo con los análisis físico-químicos, se observa que la pérdida de lactosa es mayor que en el suero centrifugado (SC20).

El proceso de centrifugación demuestra ser una etapa necesaria, ya que remueve entre 60 y 80% de la grasa del suero crudo. El proceso de microfiltración complementa la centrifugación en lo que se refiere a la eliminación total de grasa, y combinado con la centrifugación permitió una recuperación media de 90% de la lactosa del suero de queso.