

# Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas

Kreczmann, Braulio<sup>2</sup>; Alonso, Alba<sup>2</sup>; Liloia, Matías<sup>2</sup>; Zamboni, Enzo<sup>1-2</sup>; Cerutti, Raúl<sup>1</sup>;  
Baroni, Dante<sup>1</sup> y Poluján Diana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Tecnología de Leche - Departamento de Salud Pública - Facultad de Ciencias Veterinarias -  
Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup>Diagramma S.A. Biotecnología. Santa Fe, Argentina



## Introducción

El suero representa entre el 80 y el 90% del volumen total de la leche que va a ser procesada y contiene aproximadamente el 50% de los nutrientes de la leche original: proteínas solubles, lactosa, vitaminas y sales minerales. A través de su tratamiento con distintas tecnologías pueden obtenerse diferentes subproductos. Los principales factores que motivaron su utilización fueron el impacto ambiental, el aprovechamiento de los nutrientes que presenta y el aumento de la demanda de sus subproductos por parte de mercados locales e internacionales. Este documento brinda información sobre el proceso de producción de lactosa en polvo (grado alimentario y farmacológico) y sobre el proceso de producción de proteínas concentradas de suero (Whey Protein Concentrates - WPC) y aislados proteicos de suero (Whey Protein Isolates - WPI).

## Composición del lactosuero

En la tabla 1 se muestra la composición aproximada del lactosuero. Se observa que el componente mayoritario es el agua, pero presenta una cantidad importante de materia orgánica (lactosa y proteínas principalmente).

## Pretratamiento del suero

Independientemente del tratamiento posterior, la primera etapa que se efectúa es la separación de la grasa y de los finos de caseína (Figura 1), ya que interfieren en los pasos posteriores. En el suero siempre se encuentran presentes finas partículas de caseína. Éstas tienen un efecto adverso en el proceso de separación de la grasa, por eso deben ser separadas en primer lugar. El suero que va a ser almacenado, antes de su tratamiento debe ser enfriado o pasteurizado tan pronto como se separa la grasa contenida en el mismo. Cuando el almacenamiento va a ser corto (10-15 horas), el enfriamiento es suficiente para reducir la actividad bacteriana. Si el suero va a estar almacenado por períodos más largos es necesario proceder a su pasteurización.

## Aprovechamiento de la lactosa

La lactosa, el llamado azúcar de la leche, es un disacárido natural con peso molecular de 342 g/mol. La lactosa está formada por la unión  $\beta$  (1-4) de la  $\beta$ -D-galactopiranososa (galactosa) y la  $\alpha$  o  $\beta$ -D-glucopiranososa (glucosa). Existe bajo dos formas isómeras:  $\alpha$  y  $\beta$ , que se diferencian estructuralmente sólo en la posición del -OH en el carbo-

Tabla 1 - Composición aproximada del lactosuero

Constituyente	Porcentaje %
Sólidos totales	6,4
Agua	93,6
Grasa	0,05
Proteína	0,55
NNP (nitrógeno no proteico)	0,18
Lactosa	4,8
Sales minerales (cenizas)	0,5
Calcio	0,043
Fosforo	0,04
Sodio	0,05
Potasio	0,16
Cloruro	0,11
Acido láctico	0,05

Tabla 2 - Propiedades físicas de la  $\alpha$ -lactosa y  $\beta$ -lactosa

	Unidades	$\alpha$ -lactosa	$\beta$ -lactosa
Peso molecular	Da	360,3 *	342,3
Punto de fusión	°c	202	252
Densidad	g/mL	1,545	1,59
Calor de disolución	J/g	-50,24	-9,62
Solubilidad en agua	g/100 mL	7,4	50

Figura 1 - Diagrama de flujo del pretratamiento del suero



no monomérico de la glucosa. Sin embargo, difieren apreciablemente en sus propiedades físicas (Tabla 2), lo que conduce que tengan distintas aplicaciones.

La lactosa en estado sólido puede presentarse en estado cristalino o en estado amorfo. La lactosa en estado cristalino puede existir en diferentes formas. Las más conocidas son la  $\alpha$ -lactosa y  $\beta$ -lactosa. También existen dos formas de  $\alpha$ -lactosa anhidra cristalina, la forma estable y la inestable (higroscópica). Además se conoce la existencia de una forma cristalina llamada mixta, que contiene tanto  $\alpha$ -y  $\beta$ -lactosa en una especial red cristalina. La cristalinidad es el resultado de una disposición altamente ordenada de las moléculas de lactosa. La lactosa amorfa carece de cristalinidad y la disposición de las

moléculas es más o menos aleatoria. A continuación se describen las formas más frecuentes de lactosa sólida.

### A. $\alpha$ -lactosa monohidratada

La forma más común de obtener la lactosa en forma sólida es cristalizando una solución sobresaturada. Cuando la cristalización se realiza a temperaturas inferiores a 93,5°C, se obtienen cristales de  $\alpha$ -lactosa monohidratada, es decir que cada molécula de lactosa está asociada con una molécula de agua, la cual no se elimina durante los procesos normales de secado. Este

tipo de lactosa se usa en la industria farmacéutica como excipiente.

### B. $\beta$ -lactosa

Cuando una solución concentrada de lactosa se cristaliza a temperaturas superiores a 93,5°C, se forman exclusivamente cristales de  $\beta$ -lactosa, los cuales comparados con los cristales de  $\beta$ -lactosa monohidratada, son más frágiles y no contienen agua en su estructura cristalina. La pureza isomérica es aproximadamente el 80%  $\alpha$ -lactosa y el 20% restante  $\beta$ -lactosa anhidra. Este tipo de lactosa se utiliza principalmente como material de relleno aglutinante para la producción de comprimidos.

**his**  
Ingredients Solutions

**CREATIVIDAD E INNOVACION EN LA INDUSTRIA LACTEA**

Conservantes Biológicos - Natamicina, Nisina y Lisozima.	Antioxidantes naturales en base a Tocoferoles.
Estabilizantes para yogurt, crema, dulce de leche y otros.	Vitaminas y premezclas <i>Tailor-made</i>
Agente reductor de colesterol - HIS Down Col	

www.his-ingredients.com | info@his-ingredients.com | RNE: 02.034.708 | SENASA: B.I. 05317 | Tel.: (+5411) 4861-6603  
 Adm: Cabrera 3568, 1° piso, C1186AAP - Argentina. Planta: Int. Lumberas 1800 - Ex Ruta 24 - Parcela 13 - Parque Industrial Gral. Rodríguez - Argentina.

### C. Lactosa amorfa

Cuando una solución de lactosa altamente concentrada se seca muy rápidamente, como por ejemplo secado por pulverización, se obtiene una masa de lactosa en estado vítreo la cual es muy higroscópica. Este estado vítreo es una forma de lactosa amorfa que contiene tanto  $\alpha$ -y  $\beta$ -lactosa. Una aplicación de la lactosa amorfa es la formación de comprimidos por compresión directa.

### Usos generales

El polvo de la lactosa cristalizado es muy utilizado en la industria alimentaria debido sus propiedades funcionales. Así, por ejemplo, se utiliza en confitería, pastelería, salsas, zumos o helados, debido a su reducción del dulzor (30% de la sacarosa), aumento de viscosidad, mejora de la textura y realce del sabor. Debido a su balance nutricional, se utiliza en fórmulas infantiles y en alimentos para diabéticos. Por sus propiedades de solubilidad y absorción, la lactosa es muy utilizada como vehículo en aromas volátiles y colorantes alimenticios. Además, la forma más pura de  $\alpha$ -lactosa es ampliamente utilizada en la industria farmacéutica como excipiente, es decir, un componente químicamente inerte que se añade al sistema de fabricación para proteger o mejorar la disponibilidad biológica del medicamento o mejorar cualquier aspecto de seguridad del mismo. Así la  $\alpha$ -lactosa es el segundo componente más empleado como relleno en comprimidos, cápsulas y otras formas de medicamentos orales.

### Producción de la lactosa grado alimentario

La lactosa es el principal constituyente del suero. Para su producción se puede utilizar como materia prima lactosuero o permeado de lactosuero proveniente de la ultrafiltración (suero desprotenizado). Las etapas que intervienen en el proceso son las siguientes:

**Concentrado.** En primer lugar se efectúa un concentrado mediante la evaporación del lactosuero, previo a esta etapa se suelen utilizar plantas de osmosis inversa (OI) de diseño tubular para efectuar una pre-concentración antes de que el suero se envíe al evaporador donde se realizara la concentración final. Tras la evaporación se alcanza una concentración de 65% de sólidos, aproximadamente. En estas condiciones de concentración y en frío, se puede inducir la cristalización de la lactosa.

**Cristalización.** El ciclo de la cristalización está determinado por una serie de factores: superficie de cristales disponible para crecimiento; pureza de la solución; grado de saturación, temperatura, viscosidad y agitación de los cristales en la solución. Varios de estos factores están relacionados entre sí, por ejemplo el grado de saturación y viscosidad. Normalmente, durante la cristalización se añaden cristales de lactosa (núcleos) para acelerar la

misma. El grado de cristalización viene en principio determinado por la cantidad de  $\beta$ -lactosa convertida a la forma buscada  $\alpha$ -lactosa, por lo que el enfriamiento del concentrado debe ser controlado y optimizado de forma cuidadosa (temperatura de cristalización  $< 93,5^{\circ}\text{C}$ ). Después de este proceso, que puede llegar a durar varios días, la melaza de cristales pasa a decantadores centrifugos donde los cristales de la lactosa se enjuagan y se separan del licor madre, el tamaño de los mismos debe ser superior a 0,2 mm, ya que cuanto mayor sean, mejor se puede efectuar la separación.

**Separación de la lactosa.** Se pueden utilizar varios tipos de centrifugas para la recolección de los cristales de lactosa. Generalmente se emplean decantadores centrifugos horizontales que trabajan de forma continua y tienen un tornillo transportador para la descarga de la lactosa. Con el objetivo de conseguir una separación más eficiente entre los cristales y la solución madre se pueden instalar dos decantadores en serie. Durante la separación, las impurezas de la lactosa se eliminan por lavado, de forma que se obtiene un alto grado de pureza. El contenido residual de humedad de lactosa después de la segunda etapa de separación es inferior al 9%, y la lactosa pura representa cerca del 99% de los sólidos totales secos. Cabe destacar que el licor madre -que contiene cantidades significativas de proteínas, minerales, vitamina y más de un 18% de lactosa- se suele utilizar como suplemento alimentario para ganado.

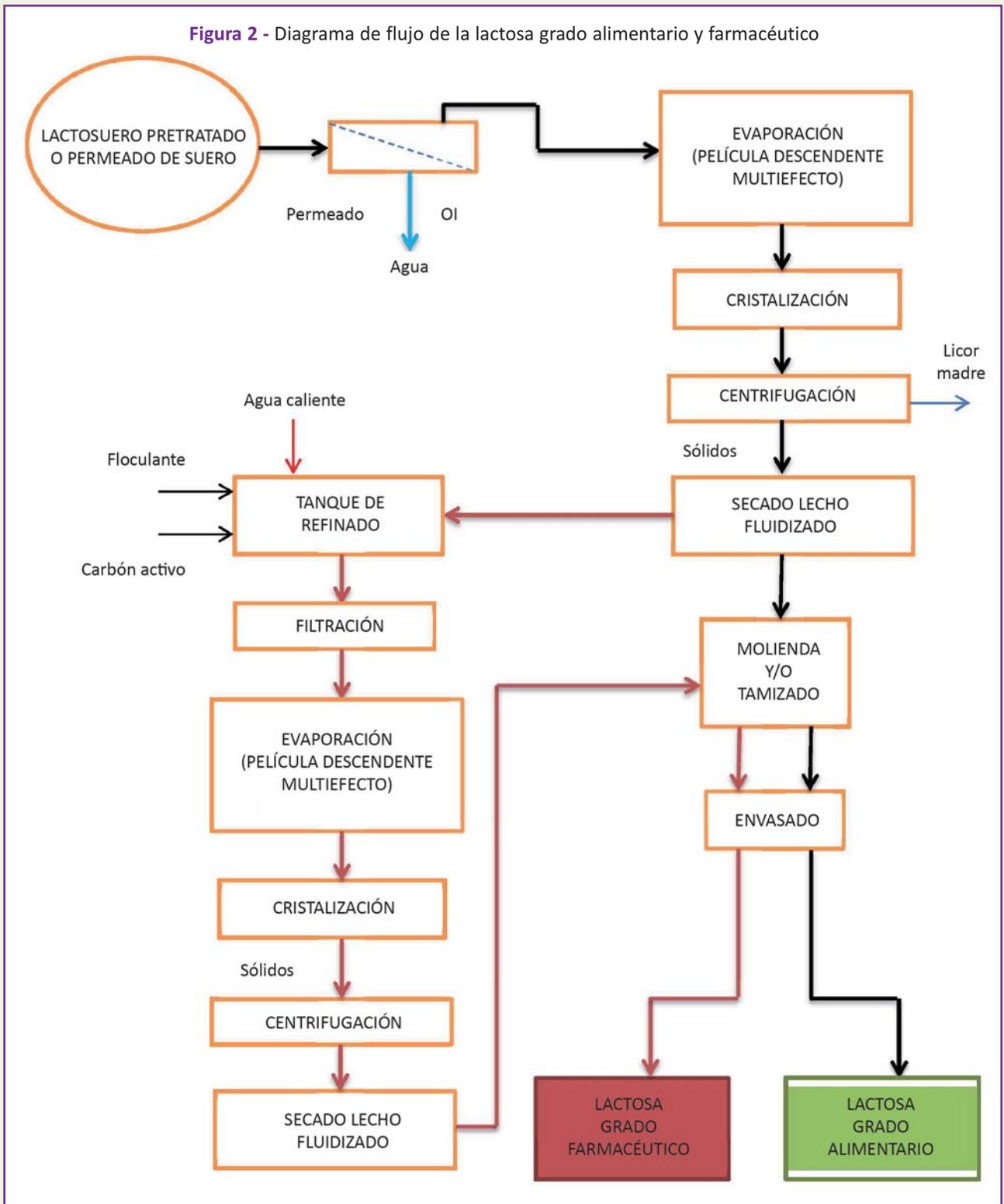
**Secado.** Después de la separación, se procede al secado de la lactosa hasta alcanzar un contenido residual de humedad del 0,1 – 0,5%, dependiendo de la utilización que se le vaya a dar al producto. La temperatura durante el secado no debe superar los  $93^{\circ}\text{C}$ , ya que se forma  $\beta$ -lactosa a temperaturas superiores. El tiempo de secado debe ser también tomado en consideración. Durante el secado rápido tiende a formarse una delgada capa de lactosa amorfa sobre los cristales  $\alpha$ -hidratos, lo que puede dar lugar posteriormente a la formación de grumos. El secado se realiza normalmente en un secador de lecho fluidizado. La temperatura se mantiene a  $92^{\circ}\text{C}$  y el tiempo de secado es de 15-20 minutos.

**Molienda, tamizado y envasado.** Tras el proceso de secado se procede a la molienda de los cristales, normalmente en un molino de martillos, para finalmente ser tamizados y envasados.

### Producción de la lactosa grado farmacológico

Para obtener lactosa con grado farmacéutico es necesario un proceso de refinado. Este proceso consiste en redissolver los cristales de lactosa en agua caliente hasta una concentración aproximada del 50%. Luego se trata la solución con carbón activo, que absorbe gran número

Figura 2 - Diagrama de flujo de la lactosa grado alimentario y farmacéutico



ro de solutos, incluida la riboflavina, así como proteínas y proteasas. El carbón activo se separa por floculación y posterior filtración. Tras esto, se lleva a cabo la cristalización y separación de los cristales por centrifugación. Tras el secado de estos cristales, se obtiene lactosa con grado farmacéutico. Para obtener cristales con una distribución de tamaño específica, se lleva a cabo la molienda y tamizado. En la figura 2 se muestra la línea descripta de producción de lactosa grado alimentario y grado farmacéutico a partir de lactosuero.

### Aprovechamiento del conjunto de proteínas

Las proteínas del lactosuero representan alrededor del 20% de las proteínas de la leche de vaca. Se caracterizan por tener un alto valor biológico, es decir, son absorbidas casi en su totalidad por el sistema digestivo. Los principales componentes, así como las concentración se resumen en la tabla 3.

Estas proteínas son muy utilizadas en la industria alimentaria debido a su amplio rango de propiedades químicas, físicas y funcionales. Entre estas últimas

Tabla 3 - Concentraciones de las principales proteínas del lactosuero

Proteína	Concentración (g/L)
β-lactoglobulina	2,7
α-lactoalbumina	1,2
Inmunoglobulinas	0,65
Seroalbumina bovina	0,4
Lactoferrina	0,1

se destacan la solubilidad, viscosidad, capacidad de retención de agua y sus cualidades como agentes gelificantes, emulsificantes y espumantes. Para aprovechar todas las propiedades citadas de las proteínas del lactosuero, una de las técnicas más utilizadas es la ultrafiltración, mediante la cual se obtiene el llamado concentrado de proteínas del lactosuero (WPC) y los aislados de proteínas del lactosuero (WPI). La diferencia entre ambos es que el WPC contiene hasta un máximo de 85% de proteína, mientras que el WPI llega a contener hasta un 90%.

### Obtención de WPC

Los concentrados de proteínas de suero se presentan como polvo fabricado mediante secado del concentrado de la ultrafiltración. Se describen en términos de su contenido en proteína (porcentaje de proteína sobre materia seca), oscilando entre 35 y 80%. Para fabricar un producto con un 35% de proteína, el suero líquido se concentra unas seis veces hasta un contenido de sólidos totales aproximadamente del 9%. Para obtener un concentrado con un 80% de proteína, el suero líquido se concentra unas 20-30 veces mediante ultrafiltración hasta un contenido de sólidos de aproximadamente 25%. Este valor se considera como el máximo para una operación económica, por lo que es necesario diafiltrar el concentrado para eliminar lactosa y cenizas y aumentar la concentración de proteínas con relación a la materia seca total. La diafiltración (DF) es un proceso en el que el agua se añade al alimento conforme se realiza la filtración con el fin de lavar los componentes de bajo peso molecular que pasaran a través de la membrana, básicamente lactosa y sales minerales. Este permeado se utiliza como materia prima para obtener lactosa.

Antes de la etapa de la ultrafiltración se pueden realizar tratamientos adicionales, como desmineralización mediante nanofiltración (NF). Ésta se realiza por medio del uso de membranas de ósmosis inversa de poros muy pequeños, especialmente diseñadas, en donde pequeñas par-

tículas como ciertos iones monovalentes (sodio, potasio, cloruro) y pequeñas moléculas orgánicas (como urea y ácido láctico) pueden escapar a través de la membrana junto con el permeado acuoso. En la figura 3 se indican las etapas para obtener un concentrado de proteínas (WPC) a partir de lactosuero.

En el concentrado se retiene la mayoría de las proteínas puras, normalmente más del 99%, junto con el contenido de grasa que no se eliminó en el desnatado. La tabla 4 muestra la composición de algunos típicos concentrados de proteína de suero (WPC) en polvo.

### Obtención de WPI

Los aislados de proteínas del lactosuero se pueden obtener, principalmente, por dos métodos: tecnología de membrana y tecnología por intercambio iónico. El intercambio de iones proporciona una mayor concentración de proteína por kilo de producto final, pero esto es sólo una parte de la ecuación que interesa. Los aislados de intercambio iónico, como muchos concentrados de suero, se procesan con altas temperaturas y por tanto sacrifican la actividad biológica de las microfracciones que existen en el suero de la leche. Estos aislados de intercambio iónico se obtienen a través de una tecnología denominada "columna de intercambio de iones", que separa las proteínas del resto de los componentes del suero mediante una discriminación basada en su carga eléctrica. Durante este proceso la mayor parte de los componentes bioactivos, que dan valor extra a la proteína de suero para promover salud y rendimiento, son desintegrados o pierden totalmente su capacidad biológica. Una de las pérdidas más acusadas se produce sobre los llamados glicomacropéptidos (GMP). En su lugar, los aislados de intercambio iónico logran aumentar de

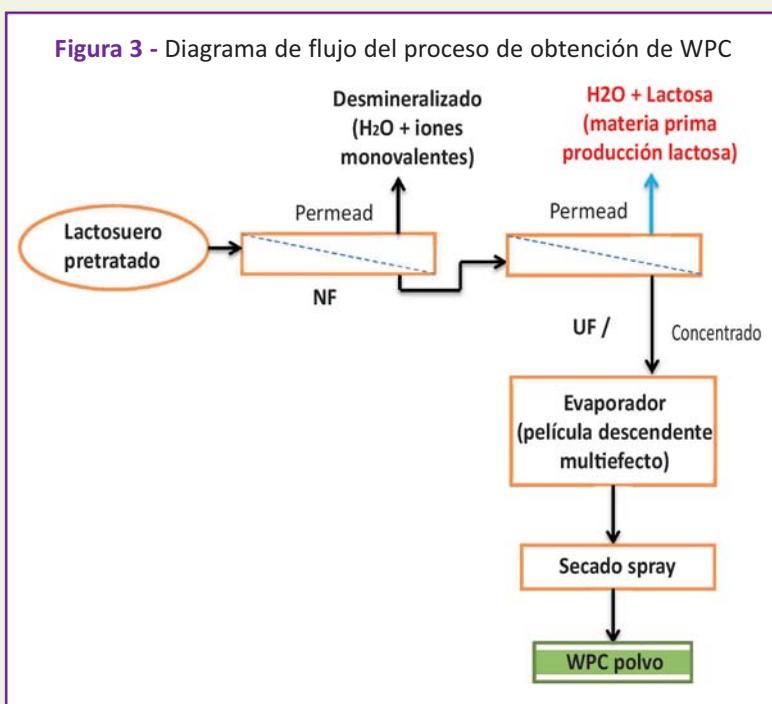


Tabla 4 - Composición en % de algunos concentrados en polvo de proteína de suero

Composición en %				
Producto	1	2	3	4
Proteína en materia seca	35	50	65	80
Humedad	4,6	4,3	4,2	4
Proteína cruda	36,2	52,1	63	81
Proteína	29,7	40,9	59,4	75
Lactosa	46,5	30,9	21,1	3,5
Grasa	2,1	3,7	5,6	7,2
Cenizas	7,8	6,4	3,9	3,1
Acido láctico	2,8	2,6	2,2	1,2

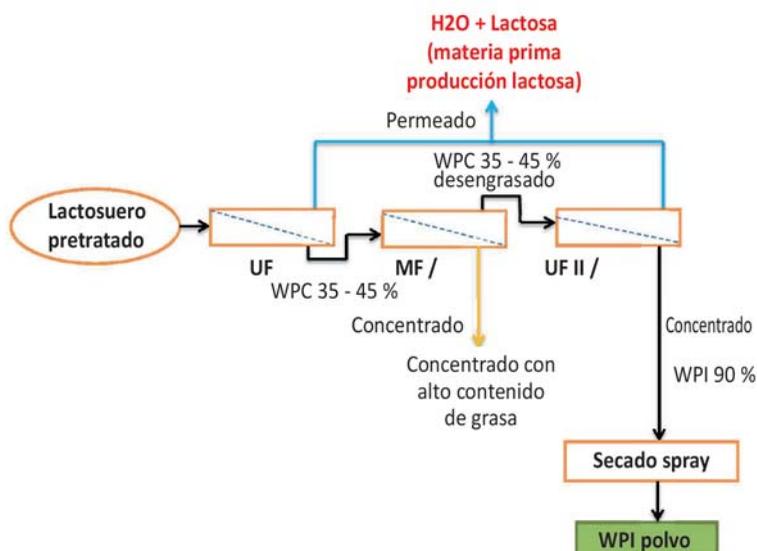
  

Especificaciones de producto	
1	Sustituto de leche desnatada, 35% de proteína en materia seca
2	Suplemento proteico para otros alimentos, 50% de proteína en materia seca
3	Límite práctico de proteína obtenida solo mediante ultra filtración, 65 % de proteína en materia seca
4	Producto de ultrafiltración mas diafiltración, 80 % de proteína en materia seca

forma alarmante la concentración de beta-lactoglobulina, una subfracción nada interesante ya que su ingestión indiscriminada se asocia a un gran número de reacciones alérgicas.

La tecnología de membranas utiliza etapas en serie de ultrafiltración (UF) y microfiltración (MF) para obtener WPI; es decir el permeado de la MF (desengrasado) se envía a una segunda unidad de UF para una posterior concentración. Esta etapa también incluye diafiltración (DF). Las membranas de microfiltración empleadas para tal fin se diseñan para retener partículas en suspensión en el rango de micras, como es el caso de grasas presentes en el lactosuero concentrado. Por otro lado, las membranas de ultrafiltración empleadas se diseñan para retener los constituyentes del lactosuero en el rango molecular, como es el caso de las proteínas, separándolas de lactosa y otras impurezas presentes en el lactosuero (materia prima para la producción de lactosa). Cabe destacar que el tratamiento del concentrado de suero a partir de una ultrafiltración en una planta de microfiltración puede reducir el contenido de grasas del WPC 80-85% en polvo desde el 7,2 % hasta menos del 0,4 %. Esta técnica difiere del intercambio iónico en que no hay modificación química de las proteínas y que la fracción de glicomacropéptidos es retenida junto con las demás. Si no hay ajuste de pH y el proceso se lleva a cabo a temperaturas intermedias, el producto final está casi completamente exento de proteínas desnaturalizadas. En la figura 4 se indican las etapas del proceso de desengrasado del concentrado de lactosuero.

Figura 4 - Diagrama de flujo del proceso de obtención de WPI



### Conclusión

El procesamiento de suero de lechería mediante distintas tecnologías genera el aprovechamiento de los distintos nutrientes que presenta, convirtiéndose en un producto de alto valor agregado. En este documento se demostró que a partir del lactosuero combinando tecnologías de membranas se pueden obtener los concentrados y aislados de proteínas (WPC y WPI) y que además, a partir del permeado de dicho proceso, es factible producir lactosa de grado alimentario y farmacológico combinando procesos de evaporación, cristalización y secado en lecho fluidizado.