

Industria láctea



Edgardo Contreras

Instituto de Investigaciones en
Ciencia y Tecnología de Materiales
Universidad Nacional de Mar del Plata
(Mar del Plata, Argentina)



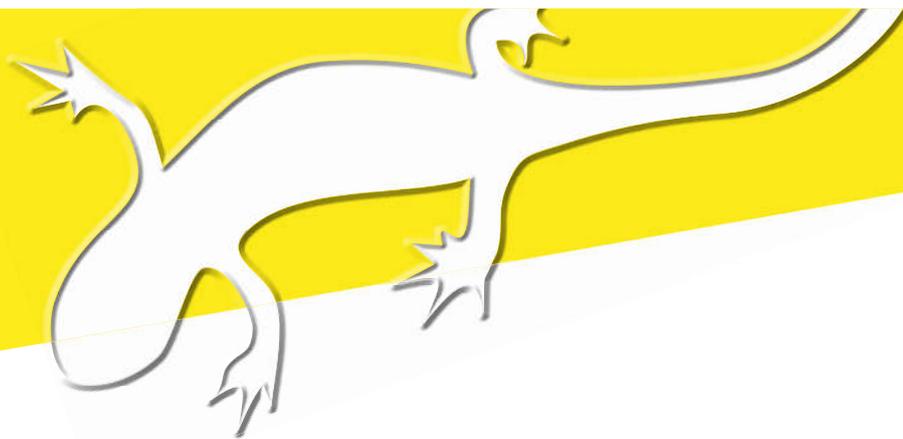
I N T E M A



Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA).
Mar del Plata (Argentina).

Índice

1. Contextualización de la industria láctea en la Península Ibérica y en Latinoamérica	65
2. Sistema de producción de la industria láctea	67
2.1 Producción de leche fluida para consumo directo	67
2.2 Producción de quesos	71
2.3 Producción de leche en polvo	74
2.4 Operaciones auxiliares en la industria láctea	76
3. Caracterización y producción de las aguas residuales en la producción láctea	78
3.1 Consumo de agua en la industria láctea	78
3.2 Características del agua residual producida en la industria láctea	78
3.3 Reducción de volumen y carga orgánica de las aguas residuales en la industria láctea	80
4. Bibliografía	82



1. Contextualización de la industria láctea en la Península Ibérica y en Latinoamérica

El sector lácteo de la Península Ibérica y en Latinoamérica hace una importante contribución a la economía de la región, a la producción y exportación de productos de origen animal de alto valor nutricional y a la seguridad alimentaria y nutricional de comunidades urbanas y rurales. Su importancia económica y social es cada vez mayor en razón a la creciente demanda de leche y derivados lácteos [1].

Esta creciente demanda impulsó un incremento en la producción mundial de leche, debido al creciente protagonismo de países como India, China y Paquistán, principales productores de leche de búfala. Sin embargo, la leche de vaca continúa siendo la principal fuente de leche en el mundo, con un 82% del total producido. En términos relativos, en 2016, Asia aportó casi el 30% de la producción mundial de leche, seguido de la Unión Europea (24%) y Norte y Centro América (18%). En este sentido, Latinoamérica es un actor menor en la producción mundial de leche, con un aporte del 9,3% [2]. En la **Tabla 1** se muestran los principales países productores de leche en Iberoamérica.

Tabla 1. Producción de leche en España y en Latinoamérica en 2016 [2].

País	Producción anual (en millones de litros)
Brasil	33.800
México	11.700
Argentina	9.900
España	6.900
Chile	2.500
Uruguay	2.100

El destino o uso que se da en cada país a la leche producida depende de varios factores, tales como la demanda del mercado interno, los gustos y costumbres regionales y posibilidad de exportación de diferentes productos lácteos. En términos generales, una importante fracción de la leche producida es destinada a la producción de leches fluidas en sus diversas formas (pasteurizada, esterilizada, entera o desnatada). Por ejemplo, en

2016, aproximadamente el 46% de la leche producida en España fue empleada para la producción de leches fluidas, seguido de yogures y leches fermentadas (12%), quesos (6%), nata y otros productos [3]. De acuerdo a los datos disponibles en el sitio del Ministerio de Hacienda de la República Argentina [4], el 18% se consume como leches fluidas, mientras que un 75% se destina a la elaboración de productos tales como quesos (40%) o leche en polvo (28%).

Otros productos en importancia decreciente son mantequilla, yogur, dulce de leche y con menor participación postres y flanes, y leche condensada. Una vez satisfecha la demanda interna, las exportaciones afectan fuertemente el destino de la leche en cada país. Por ejemplo, a pesar de que México produce aproximadamente 5 veces más leche que Uruguay (Tabla 1), Uruguay es el tercer exportador mundial de leche en polvo entera (LPE), seguido de México y Argentina (Tabla 2).

Tabla 2. Principales países exportadores de leche en polvo entera (LPE) durante 2017 [2].

Puesto	País	Toneladas exportadas de LPE
1	Nueva Zelanda	1.342.999
2	UE-28	393.142
3	Uruguay	97.515
4	México	73.319
5	Argentina	70.842
6	Australia	54.746
7	Singapur	51.946
8	Hong Kong	36.690
9	Bielorrusia	29.349
10	USA	27.491

Una situación que se repite, en mayor o menor medida en los principales países productores de la región, es que unas pocas empresas procesan gran parte de la leche producida. Por ejemplo, el sector industrial lechero en Argentina está compuesto por aproximadamente 1.100 empresas registradas, que incluyen desde grandes industrias con un fuerte carácter exportador hasta pequeños tambos-fábrica que procesan solo la leche que producen.

Los datos indican que la industria láctea en Argentina está fuertemente concentrada ya que aproximadamente el 75% del total de la leche producida en el país es procesada por medianas y grandes empresas (MyGE), las cuales representan apenas el 10% del

total [4]. Una situación similar se observa en España ya que, según los últimos datos disponibles en 2015, las 15 industrias más grandes de España procesaron el 63% de la producción de leche del país [5].

A diferencia de las pequeñas empresas, las MyGE incorporan la problemática ambiental a su modelo de negocio. Esto se debe a que estas empresas están obligadas a cumplir las normas internacionales de calidad y de política ambiental para poder ingresar en mercados externos, así como también exhibir cierto grado de responsabilidad social para evitar conflictos con la población. Por esta razón, las MyGE presentan una mayor facilidad de adopción de nuevas tecnologías respecto de los pequeños establecimientos.

2. Sistema de producción de la industria láctea

Existe una gran variedad de productos y procesos productivos relacionados con el procesamiento de la leche cruda. En este capítulo solamente serán tratados los procesos de fabricación de los productos más importantes, teniendo en cuenta el volumen de leche procesada y el impacto ambiental asociado:

1. Leche fluida para consumo directo.
2. Quesos.
3. Leche en polvo.

Además, debido a su importancia ambiental, se incluyen en un apartado especial las principales operaciones de limpieza de equipos.

2.1 Producción de leche fluida para consumo directo

Debido a la facilidad de la leche para sufrir un rápido deterioro, es necesario someterla a un tratamiento que permita aumentar el tiempo de conservación y eliminar posibles contaminaciones antes de ser consumida (**Figura 1**). Una vez recibida, la leche se almacena temporalmente en tanques refrigerados hasta su entrada en proceso. A continuación, la leche se filtra para eliminar los sólidos visibles y se clarifica para eliminar todo tipo de suciedad y coágulos de proteína.

Posteriormente, se procede a un desnatado para separar la nata de la leche y se realiza la normalización para ajustar el contenido graso final de la leche que se va a producir (leche entera, semidesnatada o desnatada). La leche normalizada en su contenido graso se somete a una homogeneización para reducir el tamaño de las partículas y distribuir las uniformemente mejorando su emulsión.

Por último, se procede al tratamiento térmico de estabilización microbiológica, que en función de las condiciones de tiempo-temperatura podrá considerarse como pasteurización, esterilización o tratamiento UHT. Tras el tratamiento térmico, la leche se almacena en condiciones refrigeradas hasta su envasado final.

A continuación se detallan estas etapas:

a) Recepción

Normalmente la leche llega hasta la planta en camiones cisterna. Tras la recepción, la leche se suele almacenar en condiciones refrigeradas hasta su entrada en línea. En esta etapa se producen pérdidas de leche debido a las operaciones de vaciado y llenado de los depósitos, pudiendo llegar a los sistemas de evacuación de aguas residuales y así, contribuyendo a aumentar la carga orgánica contaminante de las mismas.

Además, en esta etapa puede detectarse leche que no cumpla con los requisitos de calidad requeridos, por lo que puede dar lugar a un rechazo de la leche recibida. En esta etapa se realiza también la limpieza de los camiones o tanques de recogida de la leche antes de realizar el siguiente transporte. La limpieza de los camiones y tanques se describe con mayor detalle en el apartado correspondiente a las operaciones de limpieza.

b) Filtración/clarificación

En primera instancia se puede realizar una filtración para eliminar las partículas más grandes. Posteriormente tiene lugar la clarificación de la leche, donde se eliminan las partículas orgánicas e inorgánicas y los aglomerados de proteínas utilizando centrifugas.

En esta operación se generan los llamados lodos de clarificación, los cuales son residuos semipastosos formados por partículas de suciedad, componentes sanguíneos, gérmenes y por otras sustancias principalmente de tipo proteico. También se producen pérdidas de leche que pueden ser arrastradas junto con las aguas residuales hasta el vertido final.

c) Desnatado y normalización

En el desnatado se produce la separación de la materia grasa (nata) del resto de componentes de la leche (leche desnatada). Generalmente se realiza empleando centrifugas que separan la nata, con aproximadamente un 40% de grasa, de la leche, con aproximadamente un 0,5% de materia grasa.

Posteriormente, se realiza la normalización del contenido graso de la leche, que consiste en añadir nata a la leche desnatada en distintas proporciones en función del tipo de leche que se desea obtener (entera, semidesnatada o desnatada). La nata sobrante se destina a la elaboración de otros productos como nata para consumo o mantequilla. El proceso de separación de la nata por centrifugación genera unos lodos o fangos con un contenido menor de componentes sanguíneos y bacterias que en el caso de la leche cruda.

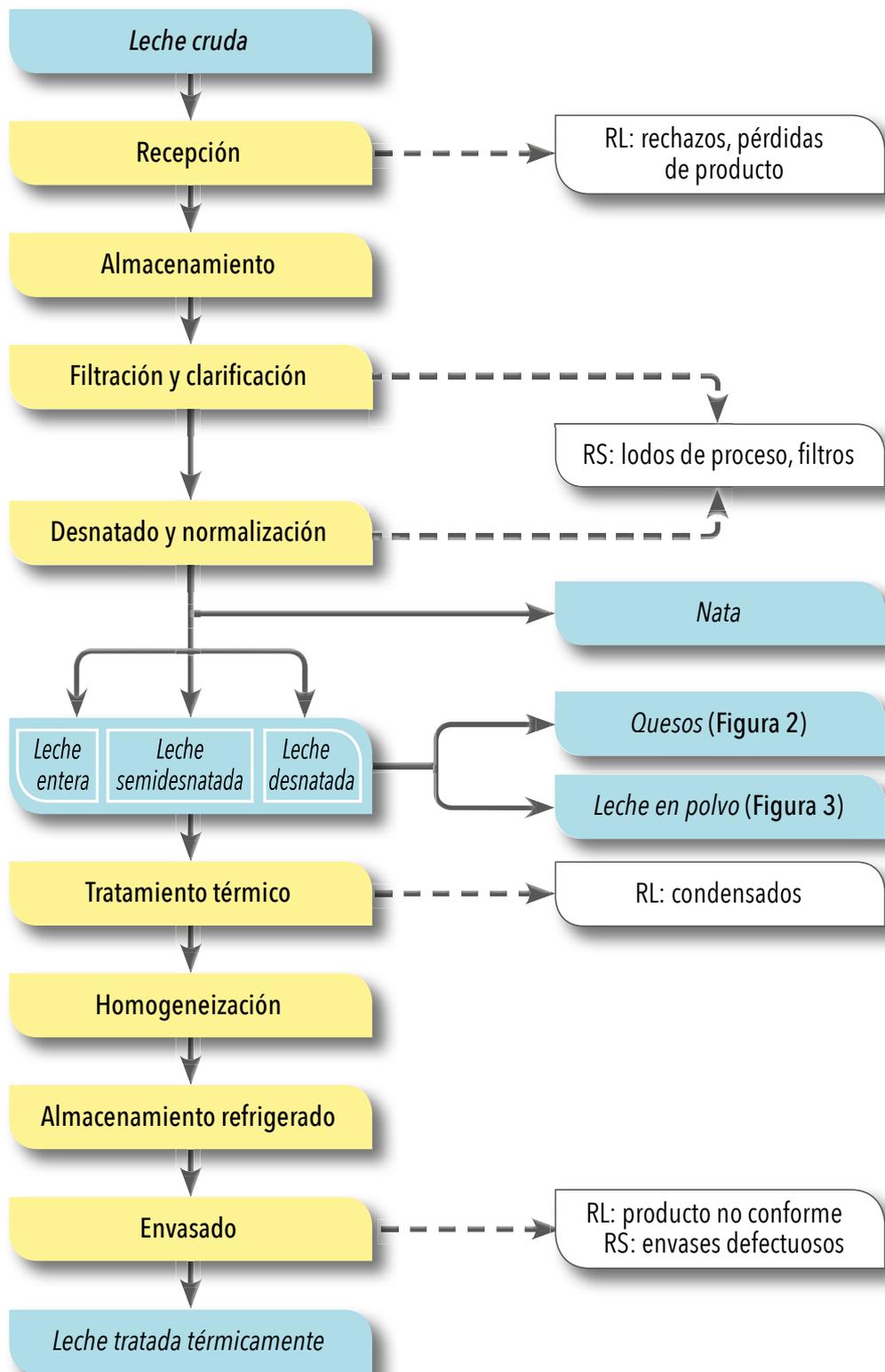


Figura 1. Etapas en la elaboración de leche tratada térmicamente.
 RL: Residuo líquido. RS: Residuo sólido. Adaptado de [6].

d) Tratamiento térmico

El propósito del tratamiento térmico es la destrucción casi completa de los microorganismos de la leche. Un efecto adicional es la inactivación en mayor o menor grado de las enzimas lácteas. Cabe destacar que el consumo energético de esta etapa es uno de los más elevados del proceso. En función de las características del binomio temperatura-tiempo utilizado en el tratamiento térmico podemos distinguir:

◆ **Pasteurización**

Es un tratamiento térmico con unos valores de tiempo y temperatura que oscilan entre 15-30 segundos a 72-85 °C. La pasteurización no garantiza la destrucción de todos los gérmenes de la leche por lo que para su conservación debe mantenerse refrigerada hasta su consumo.

◆ **Esterilización**

Dentro de la esterilización nos encontramos la esterilización propiamente dicha, que es un tratamiento térmico capaz de destruir todos los microorganismos patógenos e inactivar las enzimas. Se realiza a 100-120 °C durante 20 minutos. Por otro lado, el tratamiento UHT se basa en la aplicación de una temperatura muy elevada (135-150 °C) durante un tiempo muy corto (2,5 segundos).

e) Homogeneización

Tiene como objetivo la reducción del tamaño de los glóbulos grasos favoreciendo una distribución uniforme de la materia grasa a la vez que se evita la separación de la nata. En los homogeneizadores se hace pasar la leche a elevada presión a través de estrechas hendiduras cuyas medidas sean menores que las de los glóbulos grasos, de esta forma se reduce el diámetro de los glóbulos grasos manteniéndose éstos en suspensión.

f) Almacenamiento refrigerado

La leche, una vez tratada y refrigerada se almacena en tanques hasta su envasado. Este almacenamiento refrigerado permite controlar la calidad de la leche antes de su envasado e independizar esta etapa del proceso de producción. El principal aspecto medioambiental producido en esta etapa se debe al consumo energético necesario para mantener la leche refrigerada, así como las posibles pérdidas de leche que pueden darse durante su estancia en los tanques de almacenamiento.

g) Envasado

El envasado es la última etapa del proceso y consiste en el llenado de los envases con el producto. La condición indispensable para conseguir la conservación del producto durante un largo período de tiempo es mantener las condiciones asépticas durante el envasado. A la hora de elegir un determinado tipo de envase deberán tenerse en cuenta tanto aspectos relacionados con la conservación del producto como aspectos económicos y medioambientales. Los tipos de envases más habituales para la leche son los de vidrio, plástico y cartón. En el envasado el consumo energético de los equipos es elevado y se produce también la generación de residuos de envases por defectos de fabricación, así como pérdidas de producto por problemas durante el envasado.

2.2 Producción de quesos

La **Figura 2** muestra un diagrama general de elaboración de quesos. Antes de comenzar con las operaciones de fabricación de queso, la leche debe ser tratada y preparada para acondicionar sus características físicas, químicas y biológicas (filtración, clarificación, normalización) al producto deseado.

Debe destacarse que los quesos se pueden fabricar, tanto a partir de leche cruda, como de leche tratada térmicamente. Una vez lista para iniciar la etapa de coagulación, la leche se lleva a la temperatura adecuada y se añaden los fermentos y/o enzimas encargados de la formación del gel o coágulo. Terminada la coagulación, se corta la cuajada en pequeños cubos para favorecer el desuerado. Después de separar el suero, se introduce la cuajada en los moldes y en algunos casos se prensa. Una vez estabilizada la forma del queso, se sala y se procede a la maduración. En algunos quesos el proceso termina con el desuerado y envasado sin que tenga lugar la etapa de maduración (quesos frescos).

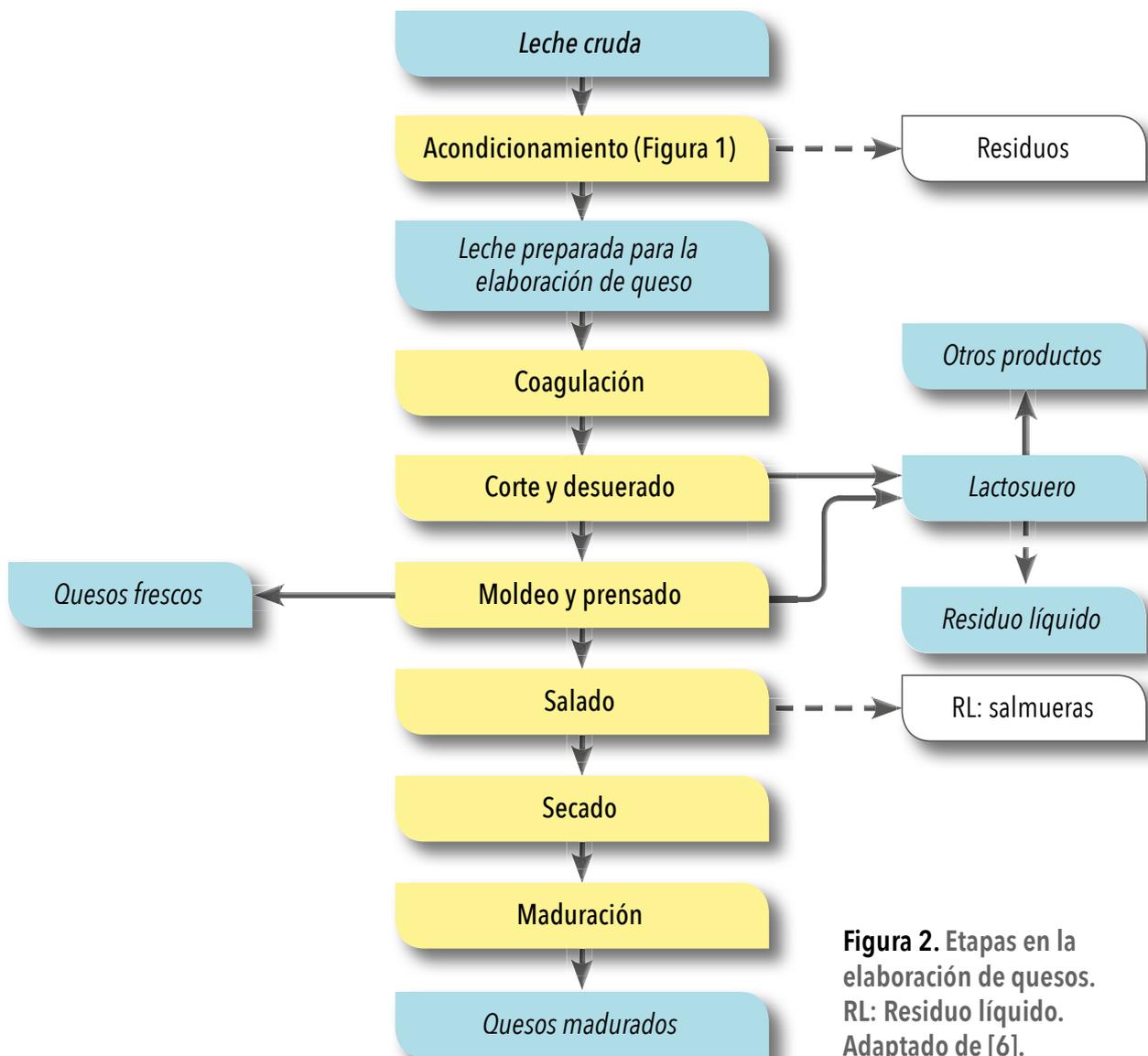


Figura 2. Etapas en la elaboración de quesos. RL: Residuo líquido. Adaptado de [6].

A continuación se detallan estas etapas:

a) **Coagulación**

La operación de coagulación consiste en provocar la alteración de la caseína y su precipitación, dando lugar a una masa gelatinosa que engloba todos los componentes de la leche. La coagulación puede realizarse de tres formas:

◆ **Coagulación ácida**

Es la que se produce mediante ácidos, generalmente por la acción de bacterias lácticas que producen la transformación de la lactosa en ácido láctico. La formación de ácido láctico reduce el pH de la leche provocando la alteración del complejo caseína-calcio, liberando progresivamente el calcio de este complejo. Cuando el pH alcanza un valor de 4,6 se produce la precipitación de la caseína, la cual queda nadando en la fase líquida (*lactosuero ácido*).

◆ **Coagulación enzimática**

Es el sistema de coagulación más empleado en la elaboración de queso, se produce mediante la adición de enzimas tipo proteasas. El cuajo obtenido de los estómagos secos de terneros en lactación contiene estas enzimas, por lo que se ha empleado tradicionalmente en la producción de queso. La coagulación enzimática transforma el complejo caseína-calcio formando el coágulo. La carga mineral del coágulo le confiere rigidez y de esta forma, una parte importante de la fase líquida (*lactosuero dulce*) queda retenida en su estructura.

◆ **Coagulación mixta**

Es el resultado de la acción conjunta del cuajo y la acidificación láctica. La obtención de un gel mixto puede realizarse adicionando cuajo a una leche ácida o acidificando un gel enzimático. Genéricamente hablaremos de *lactosuero* para referirnos al suero obtenido en el proceso de elaboración de queso independientemente del tipo de coagulación empleado.

b) **Corte y desuerado**

El gel formado en la coagulación constituye un estado físico inestable. Según las condiciones en las que se encuentra la fase líquida (*lactosuero*) que lo impregna, se separa más o menos rápidamente. Este fenómeno es el que se conoce como desuerado. Existen dos métodos principales de desuerado:

◆ **Desuerado en cuba**

El coágulo es dividido en cubos que quedan bañados por el *lactosuero* que exudan.

◆ **Desuerado en molde**

El coágulo más o menos dividido es mantenido en masa, de la cual el *lactosuero* es separado a medida que se va formando.

En algunos tipos de coágulos muy acidificados y desmineralizados se realiza la separación del *lactosuero* por centrifugación. La separación del *lactosuero* de las cuajadas dejadas en reposo es débil y lenta y en la mayor parte de los

quesos no se conseguiría la composición final deseada. Por este motivo, se realizan otras operaciones que faciliten el desuerado de la cuajada. Existen dos tipos de tratamientos: térmicos y mecánicos. Para la elaboración de determinados quesos donde se quiere obtener un extracto seco muy alto se emplean los tratamientos térmicos, donde debido a la elevación de la temperatura se produce un aumento del grado de desuerado del queso.

c) Moldeo y prensado

El moldeo consiste en verter en moldes los trozos de cuajada. Los moldes deben ser de tal característica que le confieran al queso acabado las medidas y el peso establecidos. El prensado se aplica para favorecer la expulsión del suero intergranular de la cuajada y dar al queso su forma definitiva. El prensado proporciona una mayor consistencia al producto final. La intensidad de la presión ejercida variará en función del tipo de queso. El prensado de los quesos puede realizarse tanto por la presión que ejerce el peso de los mismos quesos como aplicando una fuerza adicional. Durante el prensado también se produce la salida de *lactosuero* de la masa del queso, aunque la cantidad de *lactosuero* generada en esta etapa es menor que en el desuerado.

d) Salado

El salado es uno de los factores que más influyen en las características del queso. Interviene en la regulación del contenido final de humedad y de la acidez. La sal hace que se esponje la pasta del queso, asegura su conservación (junto con el valor de pH), inhibe el desarrollo de microorganismos no deseados y estimula el desarrollo de la flora de maduración del queso. Esta operación se puede realizar sobre la leche (en la cuba) o sobre el queso, empleando salmueras (16-22% de sal) o mediante la aplicación de sal seca sobre la superficie del queso. El tiempo y la cantidad o concentración de sal dependen del tipo de queso y del método de salado, por lo que esta etapa es muy variable. En la etapa de salado se produce el consumo de agua para la formación de la salmuera y el vertido puntual de éstas una vez se agotan. En el caso de realizarse esta operación mediante la aplicación de sal seca sobre la superficie del queso, se producen restos de sal que se retiran con las aguas de limpieza. En ambos casos, esta operación produce un vertido de elevada conductividad.

e) Secado

Una vez terminada la operación de salado, el queso puede exponerse a una corriente de aire para que se seque la superficie. El secado superficial tiene una especial importancia cuando el queso se envuelve o se recubre de cera para su maduración. Esta operación se realiza en salas o cámaras de secado acondicionadas para este fin. En ellas se hace circular una corriente de aire con unas condiciones de temperatura y humedad controladas para provocar el secado superficial del queso.

f) Maduración

Una vez salados y secados, los quesos, son llevados a salas de maduración de temperatura y humedad controlada. Durante la maduración del queso ocurren modificaciones físicas, microbiológicas y enzimáticas, dando lugar a un producto acabado con unas determinadas características de aroma, sabor y textura.

2.3 Producción de leche en polvo

La leche en polvo es aquella en la que se elimina la mayor parte de su agua de constitución, dejando un máximo del 5%, correspondiendo el restante 95% a proteínas, lactosa, grasa, sales minerales, etc. Se distinguen dos tipos de leche en polvo desde el punto de vista comercial:

- ◆ Leche en polvo entera (LPE), con un mínimo del 26% de materia grasa.
- ◆ Leche en polvo desnatada (LPD), con menos de 1,5% de grasa.

Con algunas variaciones, el proceso de obtención de leche en polvo incluye una serie de pretratamientos (estandarización, pasteurización y homogeneización), una etapa de concentración y finalmente secado [7,8]:

a) Estandarización

Una vez que llega a la planta, la leche cruda se almacena en tanques refrigerados. Luego puede haber una etapa de filtración/clarificación. Posteriormente, se lleva a cabo la separación de la nata y de la leche desnatada a través de un separador centrífugo. Si queremos obtener leche entera en polvo (LPE), posteriormente, se añade una fracción de nata a la leche desnatada, estandarizando el valor de grasa al 26%. La nata sobrante se utiliza para elaborar otros productos.

b) Pasteurización/esterilización

Además de eliminar microorganismos, esta etapa permite una desnaturalización controlada de las proteínas de la leche, inactiva enzimas, genera antioxidantes naturales y proporciona estabilidad al calor. La relación calor/tiempo depende del tipo de producto que se quiera obtener y su aplicación final. Por ejemplo, un precalentamiento alto en de la LPE va asociado a una mayor preservación de la calidad, pero a una menor solubilidad.

c) Homogeneización

La homogeneización tiene como objeto conseguir un tamaño uniforme de los glóbulos de grasa de la leche. Esto se traducirá en una reconstitución más fácil y en una prolongación de la vida comercial de la leche en polvo. Debido a que la temperatura óptima de homogeneización está entre 60 y 70 °C, esta etapa usualmente está integrada a la etapa de pasteurización. En el caso de la leche desnatada no es necesaria su homogeneización debido a su bajo contenido de grasas.

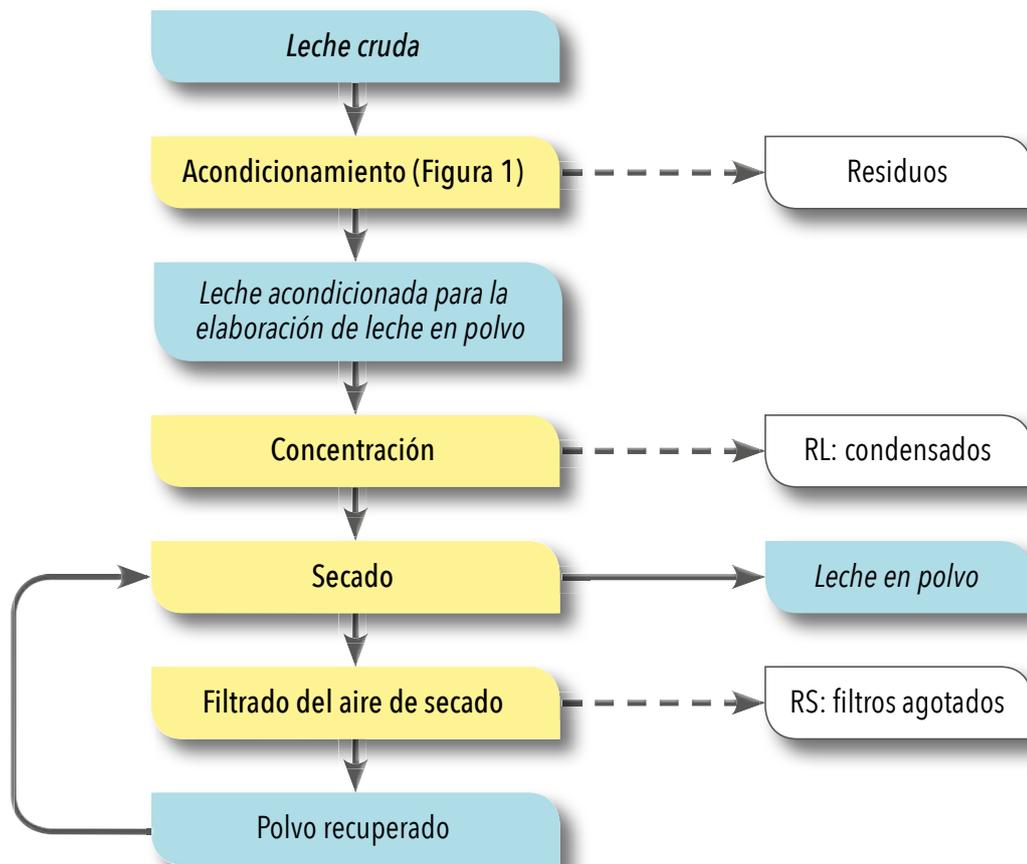


Figura 3. Etapas en la elaboración de leche en polvo. RL: Residuo líquido. RS: Residuo sólido. Adaptado de [7] y [8].

d) Concentración

La leche homogeneizada pasa luego a un evaporador y se concentra en etapas (que pueden ser de 3-4 a 7-8, dependiendo de las dimensiones del evaporador). En cada etapa se produce el vacío a una temperatura alrededor de 72 °C. En estas condiciones la leche hierve y el agua se transforma en vapor, el cual se comprime (térmica o mecánicamente) para ser utilizado en el paso siguiente para calentar la leche. En general, cuantas más etapas, mayor ahorro de energía. Un evaporador típico extrae hasta el 85% del agua de la leche.

e) Secado

Aunque existen diferentes procesos disponibles, el secado por atomización (*spray drying*) es el más comúnmente empleado en la fabricación de leche en polvo [9]. Otras alternativas disponibles son el secado en lecho fluidizado, el secado en tambor rotativo y la liofilización. Esta última tecnología se emplea cuando se requiere obtener un producto de muy alta calidad y con mínimas alteraciones respecto del producto inicial. Sin embargo, los altos costos asociados al proceso limitan su empleo. Por otra parte, el secado en tambor produce una leche en polvo de color amarillenta debido a las reacciones de pardeamiento que ocurren por las altas temperaturas y tiempos empleados.

Para minimizar el daño térmico del producto se utiliza el secado por atomización o pulverización. El proceso consta de tres etapas: atomización del producto, evaporación de la humedad y separación de partículas del aire de escape. En la primera etapa, el concentrado de leche se transforma en pequeñas gotitas utilizando atomizadores de discos rotativos (atomización/pulverización) para posibilitar el secado de las mismas por contacto con una masa de aire caliente circulante. Esto se lleva a cabo dentro de una cámara de secado inyectando aire caliente (alrededor de 200 °C). El polvo sale por el fondo de la torre con un contenido de agua entre el 3 y el 7% y pasa a la sección de envasado [8]. Debido a que entre el 10 y 20% del polvo sale de la torre por el aire de secado, tanto por motivos económicos, de seguridad, como ambientales, el aire de secado pasa por ciclones o mediante filtros-bolsa, los cuales permiten recuperar el producto perdido. El polvo recuperado puede agregarse directamente al polvo de salida de la secadora, o devuelto a la torre de secado en función de los requisitos de calidad del producto. Los polvos devueltos se ponen en contacto en la parte superior de la torre y forman aglomerados que mejoran las características de solubilidad y fluidez final del producto.

2.4 Operaciones auxiliares en la industria láctea

En este apartado se describen las operaciones auxiliares comunes a todos los procesos de la industria láctea [6,10].

a) Limpieza y desinfección

Por limpieza se entiende la eliminación total de todos los restos de la leche o componentes de la misma y otras suciedades visibles. Mientras que mediante la desinfección se pretende eliminar todos los microorganismos patógenos y la mayoría de los no patógenos que afectarían a la calidad del producto. Debido a las características de la materia prima empleada y a los productos fabricados, las condiciones higiénicas de los equipos e instalaciones de las empresas lácteas deben garantizar la calidad de los productos elaborados. El mantenimiento de las condiciones higiénicas en la empresa láctea exige llevar a cabo operaciones de limpieza y desinfección de forma continua, pudiendo llegar a suponer la cuarta parte del tiempo total de trabajo. Estas operaciones suponen la mayor parte del consumo de agua, energía y productos químicos de la instalación, así como la generación de un considerable volumen de aguas residuales.

Como consecuencia de las operaciones de limpieza se produce el vertido de las aguas de limpieza y de productos químicos empleados, más la carga orgánica debida al arrastre o disolución de los restos de producción. En la limpieza de instalaciones también pueden aparecer partículas de arena y polvo, que llegan a la industria por distintas vías, pero lo más corriente es que se eliminen restos de componentes orgánicos de la leche (grasa, proteínas, sales minerales). En general, la utilización de sistemas de limpieza basados en los medios físicos su-

pone ahorros en el consumo de agua y una menor generación de vertidos. Por el contrario, la utilización de productos de limpieza, aplicados en la mayoría de los casos como soluciones acuosas, produce un mayor volumen de aguas a depurar. Como ya se ha comentado, las aguas residuales de las industrias lácteas alcanzan valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) muy elevados. Esto se debe principalmente al aporte de componentes de la leche, siendo minoritario el aporte de los detergentes de las operaciones de limpieza.

Sin embargo, otro aspecto importante en la utilización de productos detergentes es el contenido en fosfatos y/o nitratos, ya que contribuyen de forma importante en los procesos de eutrofización de las aguas. Los detergentes tradicionales que contienen ácido fosfórico y que se emplean en las operaciones de limpieza contienen del 10 al 20% de fósforo, por lo que su contribución a las aguas residuales debe tenerse en cuenta.

b) Generación de vapor

Las necesidades de calor en las empresas lácteas se cubren en su mayor parte utilizando vapor de agua o agua caliente en función de las necesidades de la operación y del proceso. El vapor se produce en calderas de vapor y posteriormente se distribuye a través de tuberías a los distintos puntos de utilización en la empresa. Este sistema requiere de una instalación complementaria de tuberías donde pueden producirse pérdidas importantes de calor, por lo que deben contar con el aislamiento térmico adecuado para evitar tales pérdidas.

El agua empleada en la alimentación de las calderas no requiere condiciones higiénicas especiales, pero es necesario que el contenido en carbonatos y sulfatos sea bajo para evitar la formación de incrustaciones de sales en las calderas y tuberías de distribución, dificultando el intercambio de calor. Por ello se utilizan frecuentemente productos químicos para evitar las incrustaciones y las deposiciones de sales. Los condensados que se producen como consecuencia de la condensación del vapor en su distribución pueden reutilizarse como alimentación de las calderas o como agua caliente en el proceso, con lo que se consigue un ahorro en el consumo de agua.

c) Generación de frío

En las empresas lácteas se produce frío principalmente con dos fines: para la refrigeración de locales o cámaras o para la refrigeración de líquidos. Los equipos frigoríficos más empleados en la industria láctea son las máquinas frigoríficas de compresión, utilizando como agente refrigerante amoníaco u otras sustancias como los compuestos basados en los clorofluorocarbonados (CFC). Este agente refrigerante puede emplearse directamente en el enfriamiento de las cámaras o productos o bien puede emplearse para enfriar un segundo fluido refrigerante (generalmente salmuera o agua glicolada) que será el que realice la función de refrigeración (sistema de refrigeración indirecto).

3. Caracterización y producción de las aguas residuales en la producción láctea

La cantidad y calidad de las aguas residuales generadas por una industria láctea depende en gran medida de la cantidad de leche, *lactosuero*, descartes de producto y productos de limpieza que puedan ir a parar al efluente líquido. Para estimar la composición de los efluentes generados por una industria láctea resulta indispensable conocer la composición de la leche y del *lactosuero*.

3.1 Consumo de agua en la industria láctea

Por definición, las aguas residuales son las aguas provenientes de procesos post-industriales, es decir, que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su descarga.

A título indicativo, en una central lechera puede esperarse un volumen de vertido de entre 1,5 a 2,5 litros de agua residual por cada litro de leche procesada, y en el conjunto de la industria láctea el rango se amplía de 2 a 5 litros [11]. Sin embargo, debe considerarse que la diversidad de productos y de métodos de producción hace que las aguas residuales de las industrias lácteas tengan características muy variables.

Por ejemplo, mientras que en la fabricación de mantequilla se generan entre 1 y 3 litros de agua residual por litro de leche procesada (L/L), en la fabricación de queso asciende a 2-4 L/L, pudiendo llegar a 3-9 L/L en la obtención de leche de consumo [6].

3.2 Características del agua residual producida en la industria láctea

Los efluentes líquidos de las industrias lácteas están compuestos principalmente por aguas de lavado de pisos y equipos, derrames accidentales y descartes de producto, lactosuero y otros. Además, es muy frecuente encontrar que estas aguas son mezcladas con las aguas provenientes de las instalaciones sanitarias de la empresa.

En términos generales, el 90% de la materia orgánica de los efluentes líquidos de las industrias lácteas proviene de la leche, siendo un 10% sustancias ajenas a la misma (sustancias de lavado, aguas residuales urbanas). Entre las características generales de los efluentes líquidos de las industrias lácteas se pueden citar [11]:

- ♦ Alto contenido de materia orgánica biodegradable.
- ♦ Presencia de aceites y grasas.
- ♦ Variaciones puntuales de pH (2-11) durante las operaciones de limpieza.
- ♦ Variaciones puntuales de temperatura durante la purga de aguas de refrigeración.
- ♦ Niveles elevados de nitrógeno y fósforo debido a los productos de limpieza y desinfección.

- ◆ Conductividad elevada, particularmente en empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente de la etapa de salado.
- ◆ Presencia de sólidos en suspensión, principalmente en elaboración de quesos.

Existe una gran disparidad en la DQO de los efluentes de la industria láctea, la cual puede variar entre 180 y 23.000 mg DQO/L. Mientras que los valores bajos están asociados a las operaciones de recepción de leche, en términos generales los valores altos están asociados a la presencia en el efluente de suero proveniente de la fabricación de quesos. En el año 1990 la Agencia de Protección Ambiental de Dinamarca realizó una encuesta sobre 134 industrias lácteas [10].

Las empresas encuestadas comprendían 44 productoras de mantequilla, 90 producían queso, 29 eran plantas de leche de mercado y 11 producían concentrados, incluida la leche en polvo. Todas las plantas encuestadas declaraban estar tecnológicamente avanzadas y la mayoría afirmó que habían reducido la carga contaminante de sus efluentes en un 30-50% en comparación con años anteriores. La encuesta encontró que el efluente promedio de estas industrias tenía las siguientes características: DQO = 2.000 mg/L, Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días (DBO_5) = 1.500 mg/L, Grasas = 150 mg/L, Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) = 100 mg/L y Fósforo total = 30 mg/L [10].

La materia orgánica (DBO, DQO) en este tipo de efluentes es aportada principalmente por lactosa, proteínas y aminoácidos provenientes de pérdidas de productos y del suero de queso, en los casos en que se desecha el mismo. Además de los productos de limpieza, la presencia de proteínas, aminoácidos y amonio también contribuyen al nitrógeno y fósforo de las aguas residuales [12]. Por otra parte, se han identificado en el suero gran cantidad de vitaminas (biotina, colina, ácido nicotínico, ácido pantoténico, piridoxina, riboflavina y tiamina) y minerales (sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, fósforo, azufre y cloro) [12, 13] lo que determina que los efluentes de la industria láctea sean particularmente aptos para el tratamiento biológico.

Si se comparan los efluentes de los procesos de producción con los efluentes de las industrias (**Tabla 3**) puede observarse que en general estos últimos tienen una menor carga orgánica y una menor relación DQO/NTK debido principalmente a los procesos de lavado de torres de secado y/o al mezclado con aguas residuales urbanas [14].

De acuerdo a diversos estudios, la relación DQO/NTK óptima para satisfacer el requerimiento nutricional de los microorganismos en un sistema biológico aeróbico es aproximadamente 20 g DQO/g N [15, 16]. Una relación DQO/NTK > 20 g DQO/g N (Efluente tipo N) indica un exceso de DQO y por lo tanto debería agregarse nitrógeno para satisfacer los requerimientos nutricionales de los microorganismos. Por el contrario, si la relación DQO/NTK < 20 g DQO/g N (Efluente tipo C) el efluente tiene exceso de nitrógeno. En este caso, el exceso de nitrógeno puede ser oxidado a nitrato por bacterias nitrificantes. Los datos presentados en la **Tabla 3** indican que las aguas residuales de las industrias lácteas pueden pertenecer a cualquiera de estos dos tipos de efluentes.

Tabla 3. Aguas residuales provenientes de diferentes procesos e industrias lácteas. N: efluente limitado en nitrógeno para tratamiento biológico. C: efluente limitado en carbono para tratamiento biológico.

	DQO (mg/L)	NTK (mgN/L)	DQO/NTK		Ref.
Efluente de producción					
Queso, caseína	16.000	200	80	N	[17]
Suero	70.000	1.400	50	N	[17]
Suero	68.050	1.560	44	N	[12]
Leche en polvo, manteca	3.000	70	43	N	[17]
Efluente de la empresa					
FFU – Chilton	3.000	96	31	N	[18]
Adell Corporation	5.428	184	29	N	[18]
Alto Dairy Coop.	1.016	91	11	C	[18]
Mullins Cheese, Inc.	1.125	135	8	C	[18]
Packerland Whey	6.000	750	8	C	[18]

3.3 Reducción de volumen y carga orgánica de las aguas residuales en la industria láctea

Para lograr una buena calidad de los efluentes líquidos es indispensable poner acento en la prevención. Por esta razón, el control de los procesos es el primer paso para solucionar el problema de la generación de efluentes líquidos. Entre las acciones tendientes a reducir el consumo de agua y la consiguiente generación de efluentes líquidos de las industrias lácteas pueden citarse:

- ♦ Optimización de la filtración inicial de la leche con el objetivo de reducir la frecuencia de limpieza de los separadores centrífugos.
- ♦ Empleo de técnicas de medición y control de flujo de sustancias.
- ♦ Recuperación y aprovechamiento del *lactosuero* generado en la elaboración de queso y manteca. Este es un punto clave para la reducción tanto del volumen como de la carga orgánica de las aguas residuales. En la actualidad, todas las grandes empresas lácteas cuentan con estrategias de recuperación y/o revalorización del *lactosuero*. Entre ellas se pueden citar: la elaboración de otros productos lácteos (p.e., ricota), la alimentación de ganado porcino y bovino propio de la empresa o de terceros (alimentación animal), la venta a empresas procesadoras

que reciben el suero como materia prima (venta a terceros) y la producción de derivados de suero con alto valor agregado tales como suero en polvo, concentrados de proteína de suero, lactosa, entre otros. De esta forma, se minimiza el vuelco del suero al ambiente y/o a sistemas de tratamientos de efluentes [19].

- ◆ Control y/o reutilización de salmueras empleadas en la elaboración de quesos. Son una importante fuente de carga orgánica y de sales.
- ◆ Minimizar el empleo de agua de lavado. El mayor consumo de agua se produce en las operaciones auxiliares, particularmente en la limpieza y desinfección, donde se consume entre el 25-40% del total. Dependiendo del tipo de instalación, el sistema de limpieza y manejo del mismo la cantidad total de agua consumida en el proceso puede llegar a superar varias veces el volumen de leche tratada. Este consumo suele encontrarse entre 1 y 3 L de agua/kg de leche recibida, pudiéndose alcanzar valores tan elevados como 10 L de agua/kg de leche recibida. Sin embargo, es posible optimizar este consumo hasta valores de 1 L de agua/kg leche recibida utilizando equipamientos avanzados y un manejo adecuado [20].
- ◆ Separación de aguas pluviales y residuales. Aunque el mezclado de aguas reduce la carga orgánica del efluente combinado, puede aumentar significativamente el volumen total de agua a tratar.
- ◆ Es muy importante el control de las pérdidas de producto, en especial de leche, la cual puede llegar a ser del 0,5-2,5% de la cantidad de leche recibida o en los casos más desfavorables hasta del 3-4% [21].



4. Bibliografía

- [1] FAO-FEPALE, 2012. Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011, Observatorio de la Cadena Lechera. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, División de Producción y Sanidad Animal. <http://www.fao.org/home/es/>
- [2] Observatorio de la Cadena Láctea Argentina, 2016. <http://www.ocla.org.ar/>.
- [3] Federación Nacional de Industrias Lácteas, 2016. <http://fenil.org/>.
- [4] Informes de cadenas de valor. Láctea, 2016. Año 1 No. 22. Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas. Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo.
- [5] Organización Interprofesional Láctea, 2015. <http://www.inlac.es/index.php>.
- [6] Prevención de la Contaminación de la Industria Láctea, 2002. Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. Ministerio de Ambiente. Obtenido de: www.cprac.org/docs/lac_es.pdf.
- [7] Pisecky, J., 2012. Handbook of Milk Powder Manufacture. 2nd Ed. (Vagn Westergaard, Ejnar Refstrup Eds.) GEA Process Engineering A/S (GEA Niro) Gladsaxevej 305 DK-2860 Soeborg Copenhagen, Denmark.
- [8] Moejes, S. N., van Boxtel, A. J. B., 2017. Energy saving potential of emerging technologies in milk powder production. *Trends in Food Science & Technology* 60, 31-42.
- [9] Ramírez, C. A., Patel, M., Blok, K., 2006. From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry. *Energy* 31(12), 1984-2004.
- [10] Bosworth M.E.D., Hummelose, B., Christiansen, K., 2000. Cleaner production assessment in dairy processing. Informe preparado por COWI Consulting Engineers and Planners AS (Dinamarca) para United Nations Environment Programme (UNEP).
- [11] Rodríguez, I. R., 2010. *Caracterización y tratamiento de efluentes líquidos en la Industria Láctea*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial – Ingeniería Ambiental. Area: Efluentes líquidos y sólidos.
- [12] Ghaly, A. E., Tango, M.S.A., Adams, M.A., 2003. Enhanced lactic acid production from cheese whey with nutrient supplement addition. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript FP 02 009.
- [13] Atkinson, B., Mavituna, F., 1991. *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*. Stockton Press, New York.
- [14] *Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial. Fabricación de productos lácteos*, 1998. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Chile.
- [15] Irvine, R. L., Bryers, J. D., 1985. Stoichiometry and kinetics of waste treatment. En: *Comprehensive Biotechnology*. Vol. 4. (C.W. Robinson, J. A. Howell, editores). Pergamon, New York. Cap. 41, pp. 757-772.

- [16] Orhon, D., Artan, N., 1994. *Modelling of activated sludge systems*. Technomic Publishing Company, Inc., USA.
- [17] Donkin, M.J., 1997. Bulking in aerobic biological systems treating dairy processing wastewaters. *International Journal Dairy Technology* 50, 67-72.
- [18] Kim, M. W., Ahn, C.H., Park, J. K., 2001. Comparisons of bacterial communities in the activated sludge of different dairy wastewater treatment plants. Proc. 3rd IWA Int. Spec. Conf. On Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes. En CD. (No. 84).
- [19] Terán, J. C., Paez, R., Pirola, M. B., Schmidt, E., 2010. *Características generales sobre el uso del suero de queso en la Provincia de Santa Fe*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI - Lácteos) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA - Rafaela).
- [20] *Cleaner production assessment in dairy processing*, 2000. United Nations Environment Programme (UNEP). Division of Technology, Industry and Economics.
- [21] *Contaminación de las aguas. Sector Lácteo. Los vertidos del sector lácteo*. 2008. Escuela Organización Industrial (EOI). Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Madrid, España.