

GRUPO DE LA LECHE Y SUS DERIVADOS. HELADOS

Unidades de trabajo

- 11. Características organolépticas, físico-químicas y bromatológicas del grupo de los lácteos.**
- 12. Modificaciones durante los tratamientos tecnológicos y de conservación de los productos lácteos.**
- 13. Alteraciones en la obtención, manipulación, transporte y almacenamiento de productos lácteos.**

Objetivos didácticos

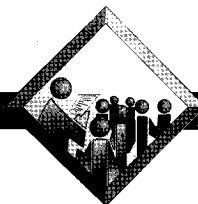
1. Identificar las principales alteraciones que sufren estos alimentos durante los procesos tecnológicos de transformación y de conservación.
2. Caracterizar la flora microbiológica habitual de origen, así como las posibles fuentes de contaminación posterior y los géneros y especies que habitualmente la producen.
3. Establecer las técnicas analíticas idóneas, según el tipo de alimento y el proceso de transformación sufrido, que permitan el control de su calidad e higiene.

PRESENTACIÓN

Puesto que ya conocemos las herramientas de trabajo que nos permiten analizar la calidad de los alimentos en sus aspectos físico, químico, bromatológico y microbiológico, así como controlarla de manera efectiva, en este segundo bloque formativo comenzaremos el análisis de forma específica de los distintos grupos de alimentos.

Iniciamos este estudio por la leche y sus derivados, pues en su composición están presentes los tres principios inmediatos, con una representación casi equivalente, por lo que sus características físico-químicas y bromatológicas ofrecen ciertas peculiaridades en cuanto a su organización íntima. Por otra parte, tal riqueza en nutrientes hace que los alimentos de este grupo sean un sustrato muy propicio para una amplia variedad de microorganismos. Así, se trata de un buen ejemplo práctico de los conceptos desarrollados en el bloque formativo anterior.

La estructura de este segundo bloque se ha secuenciado en tres unidades de trabajo. En la undécima se exponen las propiedades de los alimentos del grupo desde el punto de vista físico-químico y bromatológico. En la decimosegunda se analizan las modificaciones que sufren estos alimentos durante los tratamientos tecnológicos y de conservación que se les aplican; conociendo esto, estamos en condiciones de plantear las determinaciones analíticas físico-químicas indicadas en el control de los alimentos del grupo. Finalmente, en la decimotercera unidad se repasan las alteraciones que pueden sufrir estos alimentos durante su historia natural de obtención, manipulación, distribución y almacenamiento. Una de las principales causas de estas alteraciones la constituye la contaminación microbiológica, por lo que se analiza la carga microbiana en origen, sus posibles vías de posterior contaminación y los protocolos idóneos de análisis microbiológico para completar las medidas de control aplicables al grupo.



CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS, FÍSICO-QUÍMICAS Y BROMATOLÓGICAS DEL GRUPO DE LOS LÁCTEOS

1. La leche: un alimento crucial. 2. La leche de vaca. 3. Derivados lácteos.

11.1. La leche: un alimento crucial

Para los mamíferos, la leche es su razón de ser. Se fabrica en las glándulas mamarias de las hembras de cada especie y su composición es la idónea para las crías recién nacidas; es el único alimento proporcionado por la naturaleza con el exclusivo fin de nutrir a sus crías. La leche constituye el vínculo físico-biológico más importante entre la madre y la cría tras el parto, pues la relación entre ambas continúa mientras dura el período de lactancia. En el caso del ser humano, durante los primeros meses de vida, el intestino únicamente está capacitado para aceptar la leche procedente de la madre, de modo que es la única fuente de sustancias nutritivas necesarias para el progresivo crecimiento y desarrollo de sus tejidos.

Muchos sociólogos y antropólogos defienden la idea de que la civilización y, por tanto, la sociedad, está íntimamente ligada al concepto de alimentación. La polémica acerca de la naturaleza carnívora o herbívora del ser humano no se ha cerrado. Las últimas teorías relacionan una primera época (finales del Paleolítico e inicios del Neolítico) en la que el medio, al estar parcialmente invadido por los hielos, resultaba bastante hostil al ser humano. Durante esta época fue predominantemente carnívoro y cazaba animales que se procuraban su alimento donde él no podía llegar. Con el retroceso del hielo se abrieron las primeras dehesas y explanadas, y se produjo la revolución neolítica: el hombre comenzó a cultivar vegetales, sobre todo, cereales, y abandonó su idea de nómada cazador para convertirse en campesino; dejó de vivir en pequeños grupos o en forma individual para construir pequeñas sociedades cuyos miembros cumplían unas tareas específicas.

Esta transición en la forma de vida y en la alimentación sucedió hace unos 12.000 años. A partir de entonces el ser humano comenzó a relacionarse con la vida vegetal, a realizar provisiones y a proyectar sus necesidades y las de su sociedad a un futuro anual.

La domesticación de los primeros animales salvajes data de, aproximadamente, el año 8000 a. C., en las regiones más occidentales de Asia. Fueron el perro, la oveja, el cerdo y la vaca los primeros en compartir hábitat y alimentación con los humanos y, en pocas generaciones, perdieron sus instintos primitivos y pasaron a depender del hombre que, de este modo, pudo disponer durante todo el año de alimentos fácilmente conservables y de pieles.

De todos los animales domesticados, los mamíferos han sido los más útiles, tanto para labores de arrastre y transporte como para proporcionar carne, leche, pieles y lana. La mayor parte de las especies de mamíferos que se han utilizado son herbívoros rumiantes, de poca agresividad y facilidad de manejo, a la par que los alimentos que consumen no los puede aprovechar el ser humano, lo que significa que no compiten por el sustento vegetal.

Se desconoce el momento en el que el hombre comenzó a usar la leche de los animales salvajes como alimento. Previsiblemente, serían empleados para tal objetivo la oveja en primer lugar, la cabra, después y, más tarde, la vaca. A lo largo de la historia de la humanidad, ha tenido el prestigio que le confiere su rica y variada composición, así como sus propiedades nutritivas. De muy pocos alimentos se han obtenido tantos y tan diversos derivados, y muy pocos están presentes en tan distintas culturas.

La domesticación y la selección genética hechas, en un principio, inconscientemente y, luego, de manera consciente, han creado razas de animales productores de leche que se considerarían imposibles hace sólo unos cuantos años: actualmente, lactaciones en las granjas de España son normales de 6.000 a 8.000 litros de leche.

Cuadro 11.1. Cifras sobre la producción láctea en el mundo. (Producción en millones de toneladas de diferentes leches en el mundo. FAO, 1983.)

<i>Especie</i>	<i>Millones de toneladas</i>	<i>Número proporcional</i>
Vaca	500.000	100
Búfala	24.000	4,8
Cabra	7.500	1,5
Oveja	6.500	1,3

Por otra parte, no se ha de olvidar que en los casos en que no es posible la lactancia materna en el ser humano, hoy en día los avances científicos y tecnológicos permiten emplear leche procedente de otras especies animales como sustrato alimenticio.

La leche de vaca y otros tipos de leche serán objeto de estudio en estas páginas, ya que se consumen continuamente a lo largo de toda la vida en una gran parte de la población. Para obtenerlos, se procede al ordeño de los animales domésticos; más concretamente, de vacas, ovejas y cabras, si bien, en determinadas regiones, también se consume la leche procedente de camellos o búfalas. En este segundo bloque formativo, cuando empleamos el término leche, sin indicar la especie de la que procede, nos estaremos refiriendo a la de vaca. Si pertenece a otras especies, aclararemos de cuál se trata.

A pesar de la importancia que tiene y del gran interés de la ciencia por investigar su composición, propiedades, características nutritivas, etc., todavía quedan muchas incógnitas por desvelar, y cada día se descubren nuevas propiedades y nuevos usos industriales de este alimento.

11.2. La leche de vaca

En nuestro CAE la **leche natural** se define como "el producto íntegro, no alterado ni adulterado y sin calostros, del ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de vacas sanas y bien alimentadas". Esta definición es una adaptación de la que se redactó en 1908 en Ginebra, en el I Congreso Internacional para la Represión de Fraudes en los Alimentos e incluye tres aspectos fundamentales:

- **Producto íntegro.** Se entiende como tal aquel que comprende el inicio de la secreción láctea, la mayor parte de ella y su final, que desciende de los conductos galactóforos como consecuencia de la secreción de oxitocina.
- **No alterado ni adulterado y sin calostros.** Aunque el contenido de grasa, proteína, carga microbiológica... pueda variar, se considerará leche la secreción mamaria después de las primeras cuarenta y ocho horas de emisión de los calostros.
- **Ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de vacas sanas y bien alimentadas.** Se establece un período de ordeño de 305 días y el animal productor de leche por excelencia es la vaca.

11.2.1. Caracteres organolépticos

La leche es un compuesto líquido, opaco, de color blanco marfil y con el doble de viscosidad que el agua. Esa coloración se torna ligeramente azulada cuando se añade agua o se elimina la grasa. Es, precisamente, este componente, la porción lipídica, el que da aspecto amarillento a la superficie cuando la leche se deja un tiempo en reposo; los causantes son los pigmentos carotenoides que hay en los piensos con que se alimenta a los animales. El sabor de la leche es delicado, suave, ligeramente azucarado; su olor tampoco es muy intenso, aunque sí característico. La grasa que contiene presenta una acusada tendencia a captar los olores fuertes o extraños procedentes del ambiente.

11.2.2. Propiedades físico-químicas

La leche tiene una estructura física compleja con tres estados de agregación de la materia:

- Emulsión, en la que se encuentran, principalmente, las grasas.
- Disolución coloidal de parte de las proteínas.
- Disolución verdadera del resto de las proteínas, la lactosa y parte de los minerales.

Por tanto, podemos definir la leche como una suspensión coloidal de partículas en un medio acuoso dispersante. Las partículas son de dos tipos: unas tienen forma globular, de 1,5 a 10 micras de diámetro y están constituidas por lípidos; las otras son más pequeñas, de 0,1 micras de diámetro y corresponden a micelas proteicas que llevan adosadas sales minerales.

Al dejarla en reposo o al someterla a una centrifugación ligera, se puede separar una fracción grasa, la **crema**, más o menos amarillenta. Si, tras el reposo, se hierve, se favorece la aglutinación de la grasa, y se forma una película semisólida en la superficie, la **nata**.

En el caso de que se coagulen las proteínas, se obtendrá una masa friable más o menos blanquecina, la **cuajada**, y un resto líquido más o menos turbio que corresponde a la fracción hidrosoluble con la lactosa disuelta, el **suero**.

Las principales características físico-químicas de la leche son:

- Densidad a 15°C 1,027-1,040
- pH 6,5-6,7
- Calor específico 0,93
- Punto de congelación -0,55°C
- °Dornic 16-18
(dg de ácido láctico/litro)

En cuanto a su composición, encontramos representantes de todos los nutrientes esenciales: proteínas, lípidos, glúcidos, sales minerales, vitaminas y agua (Cuadro 11.2).

Cuadro 11.2. Composición promedio de la leche de vaca de razas occidentales. (Según Fennema, O. R.: *Química de los alimentos*. Ed. Acribia, Zaragoza, 1992).

Componente	Porcentaje medio	Rango para las razas (porcentajes medios)
Agua	86,6	85,4-87,7
Grasa	4,1	3,4-5,1
Proteína	3,6	3,3-3,9
Lactosa	5,0	4,9-5,0
Ceniza	0,7	0,68-0,74

No todas las leches de hembras de mamíferos son iguales; es más, existen diferencias fundamentales entre las leches de distintas especies, diferencias que, incluso, pueden ocasionar una modificación de su estado físico a temperatura ambiente (Cuadro 11.3).

La leche contiene de 30 a 35 g/l de proteínas de alta calidad nutritiva, que se suelen clasificar en caseínas y proteínas del suero. Todas las caseínas se integran en complejos hidratados que contienen fosfato cálcico formando micelas. Por las propias características de las caseínas y del complejo micelar, las proteínas pueden separarse fácilmente en las dos fracciones indicadas.

Aproximadamente un 4% de la leche lo constituyen los lípidos, cuya composición es muy variada; en la leche bovina, la más compleja, se han identificado más de 400 ácidos grasos diferentes. Los triglicéridos tienen la mayor proporción, de modo que constituyen hasta un 97% o un 98%. Los triglicéridos es lo que más diferencia a la leche de las diversas especies animales.

La lactosa es el principal glúcido de la leche, el menos variable y el que le confiere su típico sabor dulce. Si se tiene en cuenta el requisito de osmolaridad constante de la leche, resultado de sus condiciones de síntesis, sería de esperar una relación recíproca entre las sales de la leche y la lactosa. Se ha comprobado esta relación inversa entre los contenidos de sodio y lactosa y entre el sodio y el potasio.

Los minerales son una pequeña parte de los constituyentes de la leche, oscilando entre 3 y 8 g/l. Sin embargo, en algunos casos son fundamentales, tanto desde el punto de vista tecnológico como del nutritivo. Las materias minerales se encuentran como sales solubles o como fase coloidal insoluble. La leche humana contiene pocos minerales en comparación con las leches de rumiantes, lo que se debe a que los contenidos en algunos minerales son mayores cuanto más rápido es el crecimiento de la especie (Cuadro 11.3).

Cuadro 11.3. Composición de la leche de distintas especies por 100 g.

Especie	Composición por 100 gramos							Tiempo para doblar el peso de nacimiento en días
	Extracto seco total	Materia grasa	Lactosa	Sales	Materias nitrogenadas			
					Totales	Proporción de		
						Caseína	no proteína	
Humana	11,7	3,5	6,5	0,2	1,5	28	17	170
Vaca	12,5	3,5	4,7	0,8	3,5	78	5	35
Oveja	19,1	7,5	4,5	1,1	6	77	5	20
Cabra	13,6	4,3	4,5	0,8	4	75	7	22
Cerda	18,3	6	5,4	0,9	6	50	8	13
Búfala	17,8	7,5	4,7	0,8	4,8	80	-	-
Yegua	10	1,5	5,9	0,4	2,2	50	-	40
Burra	10	1,5	6,2	0,5	1,8	45	-	-
Rena	31,9	17,5	2,5	1,5	10,4	80	-	-

El contenido en minerales de la leche no depende de la alimentación a corto plazo de la hembra. Producir leche es lo prioritario para la reproducción de la especie, por tanto, todos los recursos se utilizan con este fin. Si el animal sufre una hipocalcemia, el contenido en calcio se mantiene constante o con mínimas variaciones hasta agotar el calcio total, es decir, desmineralizando los huesos, lo que puede conducir a hipocalcemia posparto o a otras patologías. En cuanto al contenido en sodio, se eleva al final de la lactación; el comportamiento del potasio es inverso. Las leches de las vacas productoras por excelencia, que posee un alto contenido proteico, tiene también elevados niveles de calcio y de magnesio.

Ya se ha comentado que una parte de los minerales se encuentran disueltos como sales solubles y otra parte, como fase coloidal insoluble. Los componentes básicos de las sales solubles son los cloruros, en forma de cloruro sódico. Si la leche procede de un animal con alguna patología o alteración fisiológica, este contenido se eleva y la leche tiene un marcado gusto salado. La presencia de iones de sodio y de cloro aseguran el equilibrio osmótico de la leche.

El segundo grupo en importancia en cuanto a cantidad lo determinan los fosfatos. Aproximadamente el 33% del fósforo de la leche aparece bajo esta forma; el

resto, se asocia a proteínas y constituye fosfocaseinatos y, en menores cantidades, combinaciones orgánico-fosforadas, como lecitinas, nucleótidos y complejos con riboflavina.

Existe una relación importante entre los fosfatos y otro mineral de gran importancia tecnológica y nutricional, el calcio. Una parte del calcio se encuentra como un complejo de fosfocaseinato cálcico, que es una forma insoluble; otra forma insoluble es el calcio precipitado y finalmente, bajo forma soluble de calcio iónico.

Todas estas formas de calcio están en un equilibrio que determina la estabilidad de la leche:

Calcio iónico ↔ Calcio en complejos + Calcio precipitado

El aumento de la forma soluble se traduce en el incremento de la inestabilidad de la leche y ocurre en algunos tipos de transformaciones, como el calentamiento y la acción del cuajo. En cambio, el calentamiento fuerte reduce la forma soluble y, si se intensifica, puede llegar a predominar el calcio precipitado. La proporción de ácido cítrico existente, el cual actúa como agente complexante, influye en el equilibrio anterior, reduciendo también la forma soluble del calcio (Cuadro 11.4).

Por otra parte el contenido en agua es de un 87%. Al tratarse de un alimento líquido, lógicamente, el mayor contenido es acuoso. Por ello, no podemos con-

Cuadro 11.4. Concentración de las principales sales y de la lactosa en la leche y su distribución en las fases soluble y coloidal. (Según Fennema, O. R.: *Química de los alimentos*. Ed. Acribia, Zaragoza, 1992).

Componente	Total en la leche (mg/100g)		Porcentaje en la fase soluble	Porcentaje en la fase coloidal
	Media	Rango de valores		
Calcio total	117,7	110,9-120,3	33	67
Calcio ionizado	11,4	10,5-12,8	100	0
Magnesio	12,1	11,4-13,0	67	33
Sodio	58	47-77	94	6
Potasio	140	113-171	93	7
Citrato	176	166-192	94	6
Fósforo total	95,1	79,8-101,7	45	55
Fósforo inorgánico	62,9	51,9-70,0	54	46
Cloruro	104,5	89,8-127,0	100	0
Lactosa	4.800	-	100	0

siderar a la leche como un alimento demasiado energético y aún lo es menos si se elimina su grasa. Precisamente por eso, llama la atención el hecho de que, a pesar de ser tradicionalmente considerada como un alimento pobre en azúcares y rico en lípidos y proteínas, el porcentaje de glúcidos es superior al de los otros componentes.

Además, la leche, contiene diversos enzimas: *amilasa*, *proteasa*, *lipasa*, *fosfatasa alcalina*, *catalasa*, *lactoperoxidasa*, *lisozima* y *lactenina*. Los tres últimos

desempeñan una función inhibitoria del crecimiento bacteriano. También aparecen en ella anticuerpos y células macrofágicas –mononucleares y polinucleares–, con una misión defensiva, y hormonas propias del animal, empleadas con fines fraudulentos de engorde. Por último en la leche pueden detectarse restos de antibióticos, habitualmente, penicilina o derivados; medicamentos antiparasitarios, consecuencia de tratamientos farmacológicos; nitratos, debidos a una malintencionada adición de agua; y elementos radiactivos, como el estroncio 90, presentes en la alimentación del animal.

La composición de la leche está influida por diversos factores; destacamos los siguientes:

- **La raza.** Las diferentes razas de ganado vacuno tienen tipos de leche característicos. Las principales variaciones remiten al tamaño de los glóbulos lipídicos y a la cantidad de proteínas.
- **El momento de extracción.** La leche de los primeros días que suceden al parto es muy rica en sustancias defensivas dirigidas a la protección de la cría. Esta leche se denomina *calostro* y aunque habitualmente no se destina al consumo humano, existen comunidades en las que constituye un bien apreciado.
- **La alimentación del animal.** La cantidad y la calidad de los nutrientes varían en función del pasto, de las características del terreno, de los piensos utilizados, etc. Por este motivo, no hay diferencias significativas entre los macronutrientes, pero sí pueden existir respecto a algunas vitaminas y minerales.
- **Otros factores con menor incidencia** en la composición de la leche son la movilidad del animal o el clima de las estaciones: con el calor, la vaca come menos y produce menos leche, en las estaciones frías el contenido graso y proteico es, por lo general, superior al de la leche ordeñada en las estaciones cálidas.

Esta complejidad y variabilidad de componentes de la leche y las consecuentes modificaciones que originan en el producto, junto con los variados factores que pueden incidir en él y los diferentes productos con aplicación industrial, nutricional y alimentaria, han hecho que, en la actualidad, la leche sea objeto de estudio en muchas especialidades científicas. Para aglutinarlas se creó una ciencia, la lactología, que se ocupa de todos los aspectos relacionados con la leche, desde su endocrinología de producción hasta las propiedades nutritivas del producto final, pasando por su microbiología, elaboración, transformación, etc.

11.2.3. Características bromatológicas

Cada litro de leche aporta un promedio de 700 kilocalorías. A continuación analizaremos sus componentes principales.

□ Glúcidos

La cantidad total de glúcidos es ligeramente superior al 5%. Desde el punto de vista químico, forman tres grupos:

- **Neutros:** lactosa y polióxidos a base de lactosa y fructosa.

- **Nitrogenados:** N-acetilglucosamina y N-acetilgalactosamina. Normalmente, están ligados al grupo anterior.
- **Ácidos:** ácidos siálicos. Siempre están ligados a los dos grupos anteriores.

La leche humana tiene mayor proporción de glúcidos que la de los rumiantes; en ambas especies la leche calostrada es más rica en glúcidos.

El azúcar característico de la leche es el disacárido **lactosa** (su proporción es de un 98%), el glúcido libre más representativo y más constante entre especies. Es el componente predominante del extracto seco de muchas leches de distintas especies; los restantes azúcares tienen una escasa repercusión nutricional.

La lactosa es el galactósido 1-4 glucosa. Su sabor es ligeramente dulce y su solubilidad, baja, unas diez veces menor que la de la glucosa. La sangre posee glucosa, pero no lactosa, por lo que se trata de uno de los elementos sintetizados, y no solamente filtrados en la glándula mamaria. Es el factor que determina la cantidad de leche; es decir, habrá tanta leche como cantidad de lactosa se produzca sin una variación importante de su composición.

La lactosa es un azúcar muy raro en la naturaleza; existe casi exclusivamente en la leche y es la fuente básica de galactosa para el ser vivo. Es muy estable en el circuito alimentario, de modo que hay pocos enzimas que controlen su destrucción o, los que existen, son poco activos. En cambio, se trata del compuesto más sensible a la acción microbiana; numerosas bacterias la transforman. Las bacterias lácticas pueden atacarla, provocando la hidrólisis en sus dos monosacáridos constituyentes; las hexosas liberadas se convertirán en ácido láctico, de manera que esta reacción es de enorme interés para producir ciertos derivados lácteos.

La lactosa es un glúcido con poca capacidad edulcorante comparada con otros glúcidos presentes en los alimentos, así, es unas seis veces menos edulcorante que el azúcar ordinario (Cuadro 11.5).

Cuadro 11.5. Poder edulcorante de algunos compuestos.

Compuesto	Poder edulcorante relativo
Sacarosa	100
Lactosa	16
Glucosa	75
Fructosa	170
Sacarina	45.000

En la leche tal capacidad edulcorante es aun menor a causa de un enmascaramiento realizado por la caseína; por eso, al desuero la leche, el sabor del suero es

PARA SABER MÁS...

La lactosa es un azúcar reductor del grupo de los dihidroxidos, de ellos se conocen los siguientes:

Lactosa	galactosa β (1-4) glucosa
Epilactosa	galactosa β (1-4) manosa
Lactulosa	galactosa β (1-4) fructosa
Alolactosa	galactosa β (1-6) glucosa
Sin denominar	galactosa β (1-6) galactosa
Lactinol	galactosa β (1-4) sorbitol

Estos compuestos son, en realidad, isómeros de la lactosa. Existe un equilibrio entre las formas α y β entre las formas anhidras y las hidratadas de la lactosa. La forma β es fácilmente digerible; el modo más común de encontrar la lactosa en la leche comercial es la α hidratada.

Estas formas se pueden transformar entre sí según las condiciones del medio; por ejemplo, a una temperatura inferior a 94°C y un ambiente húmedo, la lactosa α anhidra se convierte en α hidratada, pero si la temperatura sube por encima de 94°C, se transforma en β hidratada.

Es importante la capacidad de cristalización de la lactosa; produce cristales grandes y duros de manera natural, dando una textura arenosa a los alimentos que los contienen. Si se elimina rápidamente por desecación del alimento en que se encuentra, aparece lactosa vidriosa, y sus partículas tienden a aglutinarse en grumos. Estos dos fenómenos son indeseables desde el punto de vista de la tecnología alimentaria pues pueden conferir texturas inaceptables a productos como la leche condensada o los helados.

muy dulce, ya que carece de caseína. Esta característica se considera una gran ventaja desde el punto de vista dietético, puesto que permite una buena tolerancia del enfermo a la dieta láctea; si la leche fuera más dulce, no se toleraría para largos períodos de alto consumo.

En los sueros lácteos, la lactosa es el componente mayoritario, pues supone desde un 70% a un 75%. Se encuentra siempre en la fase acuosa o hidrosoluble y no en la liposoluble de la leche. Actualmente, se con-

cede bastante importancia al extracto seco de los sueros, dadas las múltiples funciones que se les va atribuyendo.

En la leche fresca sólo deben existir cantidades vestigiales de ácido láctico, aproximadamente, un 0,03%. Este producto caracteriza la transformación de la leche en derivados y resulta un buen indicador para evaluar el grado de frescura del producto: la leche se corta cuando su contenido en ácido láctico llega a un 0,5%.

EDUCACIÓN EN NUTRICIÓN...

La lactosa se metaboliza mediante un enzima específico, la lactasa, presente en el intestino delgado.

Se han descrito dos tipos de cuadros deficitarios de lactasa que originan un síndrome de malabsorción de lactosa. Uno es congénito y familiar; el otro, consecutivo a otras alteraciones del tubo digestivo, como resecciones intestinales, celiacía, etc. En el primer cuadro se produce una interesante distribución poblacional. La lactasa se sintetiza en el yeyuno del recién nacido, pero comienza a disminuir hacia el tercer año de vida y tal disminución prosigue con la edad, llegando a ser muy acusada en la ancianidad. Así, en un 15% de los adultos de raza blanca hay déficit de este enzima; este déficit existe en los adultos de un 70% a 75% de raza negra y en un 90% a 95% de los de raza amarilla. En este sentido, se ha de constatar la escasa presencia de lácteos en la cocina tradicional oriental.

La sintomatología es la de un cuadro de malabsorción, con dolor abdominal más o menos intenso y diarrea. Evidentemente el tratamiento, consistirá en suprimir los lácteos y los derivados ricos en lactosa.

En algunos países se han comercializado enzimas que, añadidos a la leche, favorecen la hidrólisis de este azúcar, por ejemplo, Lact-Aid.

También se han descrito diferentes tipos de galactosemias producidos por distintos enzimas. Se manifiestan en cataratas, hepatosplenomegalia, alteraciones renales, cerebrales y gastrointestinales; su tratamiento consistirá en suprimir la lactosa y la galactosa de la dieta; si esta medida es precoz, puede evitar el desarrollo de muchas de sus alteraciones.

□ Materia grasa

La materia grasa supone entre el 3,4% y el 5,1% de la leche. Es la fracción más conocida por su fácil separación: basta con que dejemos la leche en reposo para que se forme el típico "tapón" de nata; no obstante, en la actualidad, los procesos tecnológicos la han hecho desaparecer. Además, ha sido la primera fracción utilizada como componente independiente. Forma glóbulos grasos, cuya composición mayoritaria corre a cargo de

los triglicéridos; también una pequeña cantidad de colesterol, fosfolípidos (lecitinas y esfingomielinas), ácidos grasos libres, algún cerebrósido y ceras, de cuya estructura nos ocuparemos más adelante.

Los lípidos suponen el 99% de toda la materia grasa; el 1% restante es la llamada fracción insaponificable. Dentro de los lípidos, los simples constituyen entre el 98,5% y el 99,5%; el resto son lípidos complejos.

En cuanto a los lípidos simples, hemos de señalar que se conocen más de 150 ácidos grasos diferentes como componentes de los lípidos de la leche, aunque sólo unos pocos existen en cantidades representativas.

La mayor parte se encuentran como triglicéridos, y no hay glicerol libre, sino un exceso de ácidos grasos libres (Cuadro 11.6).

Cuadro 11.6. Principales ácidos grasos presentes en la leche.

Ácido	Contenido en %	El ácido es:					
		Volátil	Fijo	Sólido a t. ^o ambiente	Líquido	Hidrosoluble	Insoluble
1. Saturados							
Butírico	3-4	+			+	Poco	
Caproico	1,5-3	+			+	Poco	
Caprílico	0,5-2	+			+	Muy poco	
Cáprico	1-3,5	+		+			
Láurico	2-5		+	+			+
Mirístico	8-11		+	+			+
Palmítico	25-29		+	+			+
Esteárico	8-13		+	+			+
Aráquico	0,4-1		+	+			+
2. Insaturados							
1 doble enlace							
Decenoico	3-4		+		+		+
Dodecenoico	3-4		+		+		+
Tetradecenoico	3-4		+		+		+
Oleico	30-40		+		+		+
2 dobles enlaces							
Linoleico	4-5		+		+		+

Entre un 60% y un 70% de los ácidos grasos son saturados; destacan los de cadena larga: palmítico, esteárico y mirístico. También hallamos los de cadena corta: butírico y caproico, de carácter volátil, que confieren a la leche y a sus derivados su olor típico y cuya medición, mediante el **índice de Reichert-Meissl**, es útil para diferenciar la mantequilla de otros productos de similares características, como la margarina. Son estables y resistentes a las alteraciones químicas, aunque muchos microorganismos poseen equipos enzimáticos que permiten su degradación.

De los ácidos grasos insaturados, entre un 30% y un 35% corresponde a los monoinsaturados, sobre todo, al oleico; el resto son poliinsaturados. La cantidad de linoleico es importante, pero sensiblemente inferior a la que existe en la leche humana. Su contenido varía poco a lo largo del año, entre 1,2% y 4% según los autores que se consulten; este hecho y su baja proporción respecto a la leche humana es uno de los argumentos que esgrimen algunos nutricionistas en contra de la leche de vaca. Para paliar esta dificultad se ha suministrado a los animales productos alimenticios protegidos y ricos en linoleico. El principal problema del aumento de este ácido en la leche es la inestabilidad que le confiere; por eso, en recientes investigaciones se sugiere reducir el nivel hasta un 65% que, al parecer, es el nivel de compromiso ideal entre estabilidad, tratamiento tecnológico y valor nutritivo.

PARA SABER MÁS...

Llama la atención el hecho de que, a pesar de que la alimentación de las vacas es rica en ácidos grasos insaturados, la composición de la leche lo es en ácidos grasos saturados. Esto lo explica la hidrogenización y, por tanto, la saturación de los ácidos grasos en la panza del animal.

No obstante, se ha demostrado que la tasa de ácidos grasos insaturados en la leche depende de la alimentación que reciba el animal, y que será más alta cuanto más pasto fresco consuma. Así, la mantequilla de leche, rica en insaturados, tiene una gran calidad organoléptica, mientras que es dura y quebradiza en la de leche de animales estabulados y alimentados con pienso.

En cuanto a los lípidos complejos, hay que mencionar como fundamentales las **lecitinas**, cuyo porcentaje es de un 35%. Por su estructura molecular, con parte lipófila y parte hidrófila, actúan como estabilizantes para los triglicéridos en fase acuosa. Otros componentes son las **cefalinas**, que pueden llegar a un 40% y, finalmente, los **esfingolípidos**, en un 25%. Estos dos últimos grupos tienen mayor representación de ácidos grasos poliinsaturados, lo que incrementa su sensibilidad a la oxidación.

En la fracción insaponificable hay tres grupos de compuestos: carotenoides, tocoferoles y esteroides:

- **Carotenoides.** Son sustancias liposolubles que dan coloración amarilla o roja a los productos en que se encuentran. En la leche aparecen sus isómeros α y β . El β sólo está en la leche humana y de vaca, y su derivado más importante es la vitamina A, que se produce por hidrólisis en el organismo de los β -carotenos, que son los más abundantes; en menor cuantía también producen xantofilia, escualeno y licopeno. En la leche se encuentran ligados a proteínas formando lipoproteínas. Su contenido varía con la alimentación del ganado, de modo que, a mayor consumo de pastos verdes, mayor presencia en la leche.

PARA SABER MÁS...

El β -caroteno es el principal compuesto que colorea la leche de amarillo; su presencia hace que los derivados también tengan este color, especialmente, la mantequilla.

Durante el invierno, el ganado suele consumir forraje seco, heno ensilado o piensos, lo que disminuye el β -caroteno en la leche y causa una coloración pálida a la mantequilla. Como el consumidor no suele aceptar estas variaciones, la industria de derivados lácteos completa artificialmente la mantequilla con carotenos para que los productos tengan la misma coloración, independientemente de la estación.

- **Tocoferoles.** En este grupo destaca el α -tocoferol o vitamina E, que es el más importante antioxidante natural de la grasa de la leche. Su función primordial es proteger la grasa y los carotenos de la oxidación, aunque ellos mismos son muy sensibles a la radiación UV, por lo que su exposición prolongada a la luz solar los descompone. Su cantidad varía de forma pronunciada entre 0,25 y 1,25 mg/l; en la leche humana esta cantidad es mayor, llegando a alcanzar valores de 35 mg/l.
- **Esteroles.** Constituyen entre un 0,3% a un 0,4% de la grasa de la leche. Pueden aparecer libres, que es la forma más abundante, o esterificados, sólo vestigios. El esteroles más importante y conocido es el **colesterol**, que está asociado a otras sustancias semejantes a él. Forma parte de la membrana de los glóbulos grasos, interactúa con las proteínas en la fase acuosa y coadyuva a mantener la estabilidad de la leche. La grasa de la leche contiene alrededor de 0,1 g/l de colesterol, y es el componente fundamental de la fracción insaponificable.

□ Proteínas

Hay tres grupos básicos de compuestos proteicos. En 1877, Hammarsten los identificó e ideó un método de separación: añadió ácido acético a una muestra de leche

descremada, con lo que consiguió la floculación de la caseína que así se separó de las proteínas solubles del suero. Esta técnica puso de manifiesto una de las principales propiedades bioquímicas de la caseína: su insolubilidad en medio ácido.

Unos años después, en 1936, Pedersen demostró que tal separación no era tan homogénea como podía parecer y descubrió que la caseína era muy heterogénea. En general, las sustancias nitrogenadas de la leche forman una de las fracciones más complejas de la composición láctea. Por lo demás, las proteínas de la leche, como las sanguíneas, tienen especificidad de especie, ya que es éste el vehículo por el que se suministran los anticuerpos al recién nacido.

Cuadro 11.7. Principales sustancias nitrogenadas de la leche de vaca.

	<i>Gramos por litro</i>
Prótidos totales	32
Proteínas	
1. Caseína	25
2. Proteínas del suero	5,4
Albúminas	4,15
Globulinas	0,65
Proteosas	0,6
Compuestos nitrogenados no proteicos	1,6

- **Caseína.** En realidad, estamos hablando de un complejo de proteínas fosforiladas que constituyen la parte más característica de la leche: no existe ninguna sustancia parecida en ningún otro fluido orgánico; por tanto, es un producto de síntesis en la glándula mamaria.

Precipita cuando el pH desciende a valores de 4,5 o 4,6. En el caso de la leche de vaca, es la fracción más característica y la más abundante entre las sustancias nitrogenadas, constituyendo entre el 75% y el 80%.

Cuadro 11.8. Fraccionamiento de las caseínas.

<i>Fracción</i>	<i>Variante genética</i>	<i>Participación/total de proteína</i>
Caseína		75-85%
Alfa S1	A, B, C, D	39-46%
Alfa S2	A, B, C, D	8-11%
Kappa	A, B	8-15%
Beta	A1, A2, A3, B, C, D, E	25-35%
Gamma	A1, A2, A3, B	3-7%

La **caseína α** supone entre el 30% y el 45% del total. Se supone que un tercio de la cadena toma una configuración regular y que el resto es apolar y responsable de la tendencia a la asociación que presentan todas las caseínas, tendencia contrarrestada por la presencia de grupos fosfato. En presencia de calcio, tal y como se encuentra en la leche, forma una sal cálcica insoluble.

En la **caseína β** existe una cabeza polar y una cola apolar denominada tipo jabón. Un 20% de la cadena es regular. Su solubilidad es inversamente proporcional a la existencia de calcio y a la temperatura.

La **caseína κ** se encuentra normalmente constituyendo enlaces disulfuro y en forma de oligómero. Está asociada a cantidades variables de carbohidratos: galactosa, galactosamina y ácido N-acetilneuramínico. Al contrario de las anteriores, esta caseína es soluble en presencia de calcio y por tanto, está solubilizada en la leche. Además,

protege a las caseínas α y β de precipitar en presencia de calcio.

El cuajo, fermento lab o enzima lab hace que la caseína κ se rompa en dos compuestos: un gli-copéptido y la paracaseína κ ; el primero es soluble, mientras que la segunda precipita en presencia de calcio. Al mismo tiempo, el efecto protector que realizaba la proteína completa sobre α y β desaparece y precipitan ambas; este efecto es el fundamento para obtener varios derivados, como el queso, del que más adelante nos ocuparemos.

La **caseína γ** no es propiamente una variedad real de caseína, sino que se trata de restos de caseína β degradados por las proteasas de la leche.

Por otra parte los fenómenos de precipitación están regidos por una serie de factores que hacen que el equilibrio existente se desplace en uno u otro sentido (Fig. 11.1).

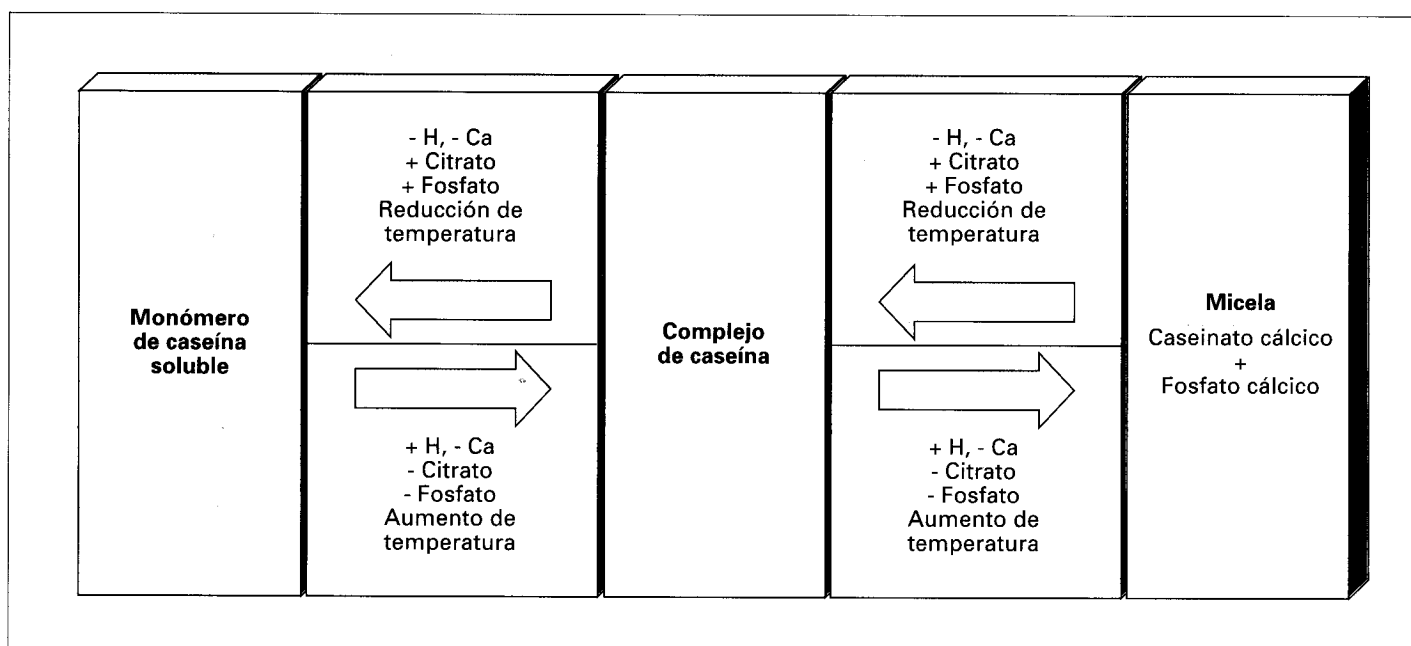


Figura 11.1. Formas de equilibrio de la caseína.

Así, la presencia de grandes concentraciones de calcio desplaza el equilibrio hacia la formación de micelas, mientras que la presencia de un agente quelante del calcio lo orienta hacia la existencia de monómeros de caseína soluble.

- **Proteínas solubles o del lactosuero.** Las proteínas solubles suponen entre el 15% y el 20% de las sustancias nitrogenadas.

Abundan mucho menos que las caseínas; suelen permanecer aisladas y no participan en la coagulación, de ahí que se las califique de solu-

bles; en cambio, su valor nutritivo es mayor, especialmente, por su contenido en aminoácidos azufrados y lisina. Una parte de ellas no se sintetiza en la glándula mamaria y procede de la sangre.

La **β -lactoglobulina** es la más abundante del grupo. Actúa en algunos tratamientos tecnológicos. Su desnaturalización por calor disminuye el riesgo de coagulación cuando se esteriliza la leche, aunque puede producir un cuajo friable. Curiosamente, se encuentra en la leche de casi todos los mamíferos domésticos, pero no en la humana.

Cuadro 11.9. Proteínas del lactosuero.

Fracción	Variante genética	Participación/total de proteína
Proteínas del suero		15-20
β-lactoglobulina	A, B, C, D, Dr	7-12
α-lactoalbúminas	A, B	2-5
Seroalbúmina		0,7-1,3
Inmunoglobulinas		1,9-3,3
IgG1		1,2-3,3
IgG2		0,2-0,7
IgA		0,2-0,7
IgM		0,1-0,7
Proteosas		2-6

La **α-lactoalbúmina** es la segunda en cantidad. A diferencia de la anterior, no está en muchas leches de mamíferos, pero es la más importante en la humana. Interviene en la síntesis de lactosa en la glándula mamaria, de manera que es el factor regulador del sistema de la lactosintetasa, y es muy próxima a la lisozima, incluso, en la secuencia de aminoácidos, aunque carece de actividad hidrolítica.

Las **inmunoglobulinas** existen en todas las leches; en la de vaca representan, aproximada-

mente, un 2%, pero aumentan mucho en el calostro. En los rumiantes predominan la IgG y en los animales monogástricos, las IgA.

Las **proteosas** son fosfoglicoproteínas, originales o procedentes de la caseína β. Su propiedad física esencial es su solubilidad tras un calentamiento a 100°C. Están bien identificados, al menos, cuatro tipos: el componente 3, que es una proteína auténtica con alto contenido en glúcidos, con efecto inhibitor de la lipólisis y carácter hidrófobo marcado, confiriendo densidad a la leche; el componente 5, que es un fragmento de caseína β; el componente 8, del que se han identificado dos clases, una rápida y otra lenta en electroforesis, y de la que aún se sabe poco. Los tres últimos, es decir, el componente 5, el 8 rápido y el 8 lento, con cierta frecuencia se encuentran asociados a la caseína.

- **Enzimas.** Es problemático definir los enzimas propios de la leche, ya que interfieren los de los microorganismos presentes en ella.

En general, se puede afirmar que estos enzimas son escasos, pero las reacciones y transformaciones que producen son de tal importancia que pueden condicionar la composición y propiedades de la leche. Son muy sensibles a las variaciones de pH y de temperatura, de modo que una elevación de ésta hace que se inactiven rápidamente.

Cuadro 11.10. Principales enzimas de la leche.

Enzima	Distribución	Tratamiento térmico que lo inactiva	Interés tecnológico
Enzimas hidrolíticos			
Lipasa	Leche descremada	63°C / 8 min 72°C / 10 s	Como factor de rancidez
Fosfatasa alcalina	Membrana del glóbulo graso	62°C / 20 min 72°C / 15 s	Control pasteurización
Proteasa	Caseína	70°C / 15 min 80°C / 1 min	Factor de cuajado
Enzimas oxidorreductores			
Xantino-oxidasa	Membrana del glóbulo graso	75°C / 3 min 80°C / 10 s	Control grado de calentamiento
Lactoperoxidasa	Lactosuero	75°C / 19 min 82°C / 20 s	Control grado de calentamiento
Catalasa	Caseína y membrana del glóbulo graso	70°C / 30 min	Indicador de infección junto a RCS

La **lipasa** (E.C. 1.11.1.7) es un complejo que ataca los glicéridos y libera ácidos grasos de cadena corta, produciendo sabor y aroma a rancio. Hay dos tipos de lipasas: uno se asocia a las caseínas, es la **lipasa mayor plasmática**, y otra,

asociada a la membrana de los glóbulos grasos, llamada **lipasa de la membrana**, especialmente abundante en los animales que se encuentran al final de la lactación y en los alimentados con alimentos secos. La primera actúa de forma óptima

con un pH de 9,2 y a 37°C es fotolábil, con lo que la exposición a la luz difusa la inactiva entre un 48% y 70%; la presencia de metales pesados y de sales disminuye su actividad.

Los tratamientos que rompen la integridad del glóbulo graso favorecen la lipólisis, ya que aumenta la superficie de contacto de ataque de las lipasas y se exterioriza la parte grasa hidrófoba, que se pone en contacto con enzimas.

La **fosfatasa alcalina** (E.C. 3.1.3.1) hidroliza enlaces éster entre ácido fosfórico y radical hidroxilo; se encuentra en la superficie del glóbulo graso. Es una glucoproteína con ácido siálico y cinc; la presencia de estos iones asegura la estructura espacial cuaternaria de la proteína. Su pH óptimo es de 9,6; se activa por iones de Mg, Mn y Ca y se inhibe por la presencia de Zn, I y cisteína. Al igual que la lipasa, el estado de lactación influye directamente en la cantidad de enzima presente en la leche, de tal manera que cuanto más avanzada está, mayor cantidad de enzima hay.

Su uso industrial más frecuente e importante consiste en indicar la destrucción de *Mycobacterium tuberculosis* durante la pasteurización. El enzima se inactiva con un tratamiento térmico superior al necesario para destruir el bacilo, de forma que la inexistencia del enzima en la leche garantiza la destrucción del germen. No obstante, puede falsearse la prueba por la existencia de reactivación espontánea del enzima o por la presencia de lipasa de numerosos microorganismos, como *Pseudomonas* y *Alcaligenes*, que suelen ser mucho más resistentes térmicamente.

La **proteasa** (E.C. 3.4.21.7), antes denominada galactasa; rompe enlaces peptídicos, liberando en la leche péptidos, cadenas de aminoácidos e, incluso, aminoácidos libres. Produce la proteólisis aséptica, es decir, la cuajada de la leche de forma espontánea y en ausencia de gérmenes.

En realidad, la proteasa es un complejo de varios enzimas, que tiene su pH óptimo entre 6,5 y 8, a 37°C. Está presente en las dos grandes fracciones proteínicas de la leche: las caseínas y proteínas del suero. Soporta bien las alteraciones de temperatura y, aunque su óptimo está a 37°C, a 5°C existe una actividad notable. También tiene un efecto de reactivación espontánea durante el almacenamiento. A diferencia de los enzimas anteriores, el avance de la lactación es inversamente proporcional a su existencia en la leche. También hay muchos microorganismos capaces de producir este enzima y, en algunos casos, más resistente y activo.

La **lisozima** (E. C. 3.2.1.17) tiene actividad microbica, pues rompe dos de los compuestos principales de la pared bacteriana: el ácido N-acetilmurámico y N-acetilglucosamina. Se localiza, sobre todo, en los leucocitos. Su actividad germicida es bastante importante, de manera que contribuye a disminuir la proliferación de la flora G-, aunque la pasteurización puede destruir hasta el 50% del enzima; además, su presencia asegura la proliferación de *Lactobacillus bifidus*, que inhibe el desarrollo de la flora de putrefacción en el intestino. Su adición a la leche de vaca hace que ésta se asemeje a la humana y en niños prematuros alimentados con fórmulas que la contienen reduce la susceptibilidad a padecer infecciones intestinales.

La **xantino-oxidasa** (E. C. 1.2.3.2) inicialmente se encuentra en el glóbulo graso, aunque los tratamientos tecnológicos pueden modificar su ubicación. Su pH óptimo está entre 6 y 9. El tratamiento térmico y la adición de agua oxigenada la inactivan; existen numerosos gérmenes contaminantes de la leche que la pueden producir.

La **lactoperoxidasa** (E. C. 1.11.1.6), como la lisozima, se localiza en los leucocitos y las células epiteliales de la leche. Cataliza la descomposición del agua oxigenada liberando oxígeno activo llamado naciente.

La **catalasa** (E. C. 1.11.1.6), como la lisozima, se localiza en los leucocitos y las células epiteliales de la leche. Cataliza la descomposición del agua oxigenada liberando oxígeno molecular y no naciente, al igual que la lactoperoxidasa. Sus cantidades aumentan en casos de mastitis o mastitis. Es rica en hierro y, como en casos anteriores, también la pueden producir algunos gérmenes, excepto las lactobacterias.

□ Vitaminas

En la leche encontramos representadas todas las vitaminas liposolubles: A, D, E y K, y una gran mayoría de las hidrosolubles: tiamina, niacina, ácido pantoténico, biotina, piridoxina, ácido fólico y cobalamina. Su cantidad varía considerablemente en función de la época del año y de la alimentación del animal. Es muy elevada la cantidad de riboflavina y, en menor cuantía, la de las vitaminas A, B₁ y B₁₂. Sin embargo, las cifras de vitaminas C y D son relativamente bajas.

□ Minerales

Al hablar de la composición química de la leche se ha hecho referencia a la cantidad total, en promedio, de sustancia mineral presente en ella; así como el comportamiento de los dos elementos principales, el calcio y

Cuadro 11.11. Promedio del contenido de vitaminas en la leche y porcentaje de necesidades diarias cubiertas por 1 litro.

Contenido medio / litro		Valor nutritivo	Porcentaje de necesidades diarias cubiertas por un litro de leche	
			Adulto	Niño 1-3 años
Vitamina B ₁	0,3-1 mg	Bastante bueno	20-30	100-160
Vitamina B ₂	0,3-3 mg	Muy bueno	80-100	400
Vitamina PP	1-2 mg	Mediocre	5	25-30
Ác. pantoténico	2-5 mg	Bueno	-	-
Vitamina B ₆	0,3-1 mg	Bueno	15-50	30-100
Vitamina B ₁₂	1-8 mg	Bastante bueno	50-400	150-1.100
Vitamina C	10-20 mg	Mediocre	25	65
Vitamina A (invierno)	500-1.000 U.I	Aceptable	10-20	35-70
Vitamina A (verano)	2.000-3.000 U.I	Bueno	40-50	130-200
Vitamina D	15-20 U.I	Mediocre	4-5	4-5
Vitamina E	0,5-1,2 mg	Mediocre	5-12	8-20

PARA SABER MÁS...

La exposición al sol puede destruir una parte considerable de la riboflavina y de la piridoxina, por lo que se aconseja que los envases lácteos no sean blancos ni de vidrio transparente. En algunas zonas, se emplearon botellas de vidrio oscuro, pero hubo una importante reducción en la ingesta de leche, pues fueron rechazados por la población. En la actualidad, los modernos envases de cartón y de material plástico evitan este efecto desagradable. No obstante, la vitamina D puede verse incrementada si la leche se expone al sol, ya que se transforman moléculas de 7-dehidro-colesterol en vitamina D₃. De cualquier modo, si la legislación lo autoriza, es posible añadir vitamina D obtenida artificialmente.

los fosfatos. En este apartado repasaremos los más importantes oligoelementos que hay en la leche.

- **Yodo.** Su concentración está directamente determinada por la alimentación del animal; su promedio está entre 0,01 y 0,3 mg por kilogramo de leche. Tiene una especial afinidad por las proteínas lácteas, de manera que, aproximadamente el 60% del yodo está asociado a ellas. Las causas de incrementos anormales de este mineral suelen ser la aplicación de yodóforos en el baño de pezones con fines antisépticos y la utilización de sales yodadas para el consumo del ganado.
- **Hierro y cobre.** Estos dos metales presentan actividades catalíticas parecidas, ya que actúan en la oxidación de las grasas; por eso, su presencia en cantidades mayores de las habituales ocasionaría una oxidación mucho más intensa y rápida. Su concentración en la leche depende de las condi-

ciones de recogida y procesado, ya que la permanencia de este alimento en recipientes metálicos favorece su aumento. Por lo demás, su concentración está sometida a fuertes variaciones individuales, como el momento de lactación, la época del año, el tipo de alimentación de las reses, etc.

El cobre está ligado a proteínas y no en forma iónica; la mayor parte se encuentra ligado a la membrana de los glóbulos grasos. Si el cobre procede de una contaminación, tiene un comportamiento diferente y se une a las proteínas de la fase hídrica. Los valores más habituales oscilan entre 10 µg y 50 µg/100 g.

Es difícil aumentar el contenido en hierro incrementando la cantidad diaria de ingesta; el hierro procedente de contaminación no tiene la misma utilidad que el hierro secretado en la glándula mamaria. Sus concentraciones habituales están comprendidas entre 50 µg y 100 µg/100 g.

- **Manganeso.** La cantidad de manganeso que hay en la leche oscila bastante con los cambios estacionales; así, disminuye en primavera y aumenta en verano. Uno de los principales responsables de su incremento en la leche y en la mantequilla es el agua de lavado que se usa en su manipulación. Su concentración oscila entre 2 µg y 6 µg/100 g.
- **Cinc.** Su concentración disminuye conforme avanza la lactación. Normalmente, el cinc no está ligado a la fase grasa y la mayor parte se encuentra asociado a las micelas de caseína. Su concentración habitual suele oscilar entre 300 µg y 500 µg/100 g.

- **Selenio.** Se trata de un componente esencial, pero puede resultar tóxico si se rebasan ciertos niveles en la ingesta: así, una pequeña cantidad en la dieta tiene, al parecer, efecto hepatoprotector, pero grandes cantidades de selenio actúan como veneno acumulativo. La caseína disminuye su toxicidad. Su concentración habitual se sitúa en 1,2 µg/100 g.
- **Plomo.** Son bajas sus cantidades habituales presentes en la leche, con cifras que van de 10 µg a 20 µg/100 g. No obstante, el ganado que pasta en las proximidades de grandes vías de comunicación, como grandes autopistas o carreteras muy transitadas, pueden tener concentraciones muy elevadas, a consecuencia de la contaminación de los pastos por el plomo procedente de las gasolinas.

Cuadro 11.12. Principales componentes inorgánicos presentes en diferentes tipos de leche en valores promedio (en g/kg por unidad).

	Humana	Vaca	Oveja	Cabra
K	0,6	14	1,3	1,9
Na	0,17	5,8	0,45	0,4
Ca	0,3	11,77	2,0	1,3
Mg	0,04	1,21	0,16	0,13
P	0,16	9,51	1,5	1,0
Cl	0,45	10,45	0,1	1,5
S	0,15	-	-	0,2
Cenizas	2,5	7,2	11,0	8,0

□ Factores biológicos diversos

Además de todos los elementos analizados, la leche puede contener, en concentraciones variables, algunos otros difíciles de clasificar, ya sea por su estructura o por sus funciones. A continuación examinaremos los principales.

- **Células.** La leche siempre posee células, a diferencia de lo que sucede con determinadas partes del organismo de los animales, como el músculo que, por definición, se considera estéril cuando es funcional y carece de patologías sépticas. Además de células procedentes de la descamación de epitelios de las cisternas del pezón y los conductos galactóforos, en la leche se encuentran linfocitos habituales y son menos frecuentes mononucleares o células granulosas. El número de células que hay en una leche sana oscila entre 10.000 y 20.000/ml. Este recuento es el RCS, recuento de células somáticas.

Si la leche procede de un animal con mamitis, el RCS se puede elevar hasta varios millones por

mililitro, generalmente, a expensas de granulocitos y neutrófilos. Todas las células presentes en la leche poseen actividad enzimática catalasa, peroxidasa, etc.

Los leucocitos habituales de la leche tienen una capacidad fagocitaria menor que la de los que hay en sangre y la ejercen fundamentalmente sobre dos estructuras: los glóbulos grasos de pequeño tamaño y las bacterias que hay en la leche. Las investigaciones sobre su actividad demuestran que son capaces de mantener estables las poblaciones de *Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes* y *Streptococcus aureus* durante las dos primeras horas que siguen a la expulsión de la leche; en cambio no son tan efectivos para otras cepas y colonias, como los *Staphylococcus coagulasa* +. Su supervivencia está determinada por la temperatura de conservación; así, la congelación y el calentamiento producen el mismo efecto, mientras que si la pasteurización es baja, con una alta temperatura y un tiempo corto, y va seguida de homogeneización, la supervivencia alcanza a un 30% de los leucocitos presentes originalmente.

- **Ácido orótico.** Es mucho más abundante en la leche de vaca que en la humana y puede sustituir a la vitamina B₁₂. No se considera como vitamina para el ser humano, pero es un factor indispensable para otras especies.
- **Colina.** Se encuentra en cantidades poco importantes, de 120 mg/l, de los que 40 mg están solubilizados y los 80 mg restantes ligados a lípidos. Puede constituir un factor esencial para algunas especies y microorganismos.
- **Inositol.** Es también un factor esencial para ciertas especies. La leche de vaca contiene una media de 110 mg/l de inositol.
- **Péptidos como factores de crecimiento.** Son importantes para evaluar el crecimiento de las bacterias lácticas y proviene de la hidrólisis parcial de las proteínas lácteas, especialmente, de la caseína. Favorecen el crecimiento de *Lactobacillus bifidus*, por ello se conocen como factores bifidógenos.
- **Hormonas.** Han de encontrarse en escasa cantidad en la leche, pues la mama no las produce. La única hormona que tiene alguna relevancia es la progesterona, que varía con el contenido en grasa de la leche y con la estación del año. En el calostro, el nivel de hormonas puede estar algo más elevado, especialmente, a expensas de las hormonas sexuales.

11.2.4. Organización estructural de los componentes de la leche

Tanto los componentes proteicos de la leche como los grasos ofrecen una organización estructural particular, lo que facilita el mantenimiento del estado coloidal, en el caso de las proteínas, y del estado de emulsión en el de las grasas.

□ Micela de caseína

Como consecuencia de su fosforilación y de su naturaleza anfipática, las caseínas interactúan entre sí y con el fosfato cálcico para formar unos complejos grandes y esféricos, las **micelas**, cuyo diámetro es variable: oscila entre 30 nm y 300 nm. Estas micelas contienen, como promedio, un 92% de proteína, compuesto por α_{s1} -, α_{s2} -, β - y κ -caseína, con una relación medida de 3:1:3:1, y un 8% de componentes inorgánicos, principalmente, fosfato cálcico.

Los estudios realizados evidencian que estas micelas están formadas por submicelas, casi esféricas, cada una de ellas, con diámetros comprendidos 15 nm y 20 nm; por eso, el conjunto final tiene el aspecto de una fram-buesa.

Las submicelas se producen por interacción entre las zonas hidrofóbicas de las caseínas y probablemente tengan una composición variable en las proteínas que las componen. La presencia de iones, como el Mg^{2+} , estabilizaría el fosfato como fosfato amorfo, estando en equilibrio entre las fases micelar y sérica. En cuanto a la formación de micelas, son requisitos absolutos tanto la κ -caseína como el Ca^{2+} (Fig. 11.2).

Se han propuesto numerosos modelos micelares, aunque sólo dos satisfacen la mayoría de los requisitos: los modelos de Slattery y de Schmidt. Las diferencias entre ambos radica en la importancia que conceden a las interacciones hidrofóbicas y al fosfato para mantener unidas entre sí a las submicelas.

Las micelas se caracterizan por poseer una estructura esponjosa, porosa, que mantiene un equilibrio de todos sus constituyentes con la fase sérica y contribuye a su excepcional hidratación: 3,7 gramos de agua por gramo de proteína seca. También su porosidad hace posible el ataque del cuajo o fermento lab, que podría penetrar, incluso, dentro de la micela.

□ Glóbulo graso

La fracción grasa de la leche constituye una emulsión de glóbulos esféricos con un diámetro que oscila entre 2 μm y 10 μm , según sea el contenido graso de la leche.

Cada glóbulo está formado por una capa superficial, la membrana, en la cual la disposición de sus com-

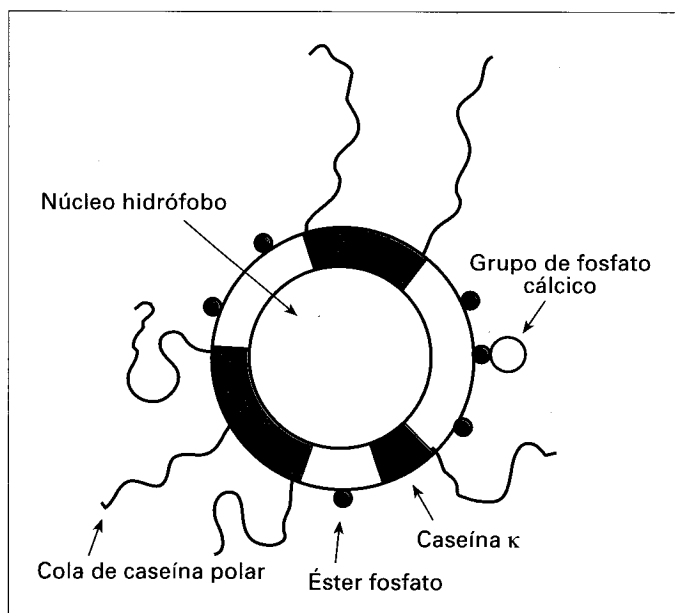


Figura 11.2. Modelo de submicela de caseína estabilizada por caseína κ .

ponentes facilita la emulsión, y por un núcleo compuesto casi exclusivamente por triglicéridos. La membrana ofrece una estructura muy compleja que se forma durante la secreción del glóbulo a través de la membrana plasmática de las células de la glándula mamaria. Su composición lipídica es semejante a la de la membrana plasmática, aunque parece encontrarse en un estado dinámico, puesto que su aspecto y composición cambian al envejecer la leche (Cuadro 11.13).

Cuadro 11.13. Composición de la fracción lipídica de la membrana del glóbulo graso de la leche. (Según Fennema, O. R.: *Química de los alimentos*. Ed. Acribia. Zaragoza, 1992.)

Componente	Porcentaje de los lípidos de la membrana
Carotenoides	0,45
Escualeno	0,61
Ésteres de colesterol	0,79
Triacilgliceroles	53,41
Ácidos grasos libres	6,30
Colesterol	5,20
Diacilgliceroles	8,14
Monoacilgliceroles	4,70
Fosfolípidos	20,40

· Contienen una gran porción de glicéridos de alta fusión (punto de fusión, 52-53°C).

Se han propuesto diferentes modelos de estructura: el modelo más aceptado es el de King, según el cual hay una doble capa proteica en su parte más externa,

orientada con sus grupos hidrofílicos hacia la fase acuosa y la hidrofóbica hacia el interior. En contacto con esta doble capa, pero ya en la zona grasa, se dispondría una capa de fosfolípidos y otra de triglicéridos de elevado punto de fusión. Entre ellas existiría una gran cantidad de agua ligada. La presencia de lecitina en esta membrana favorece la dispersión de los glóbulos y evita su agrupamiento o coalescencia (Fig. 11.3).

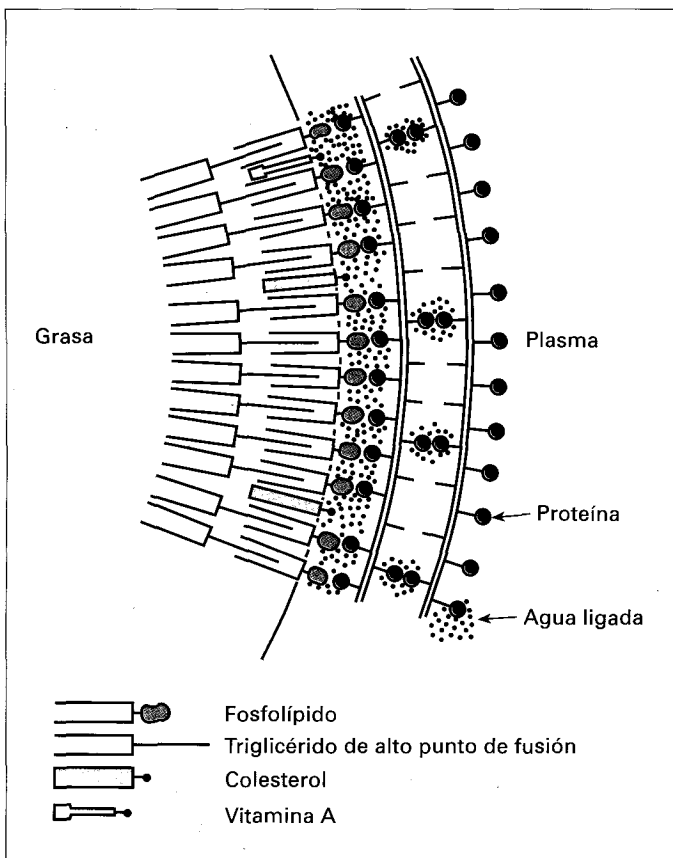


Figura 11.3. Representación de la estructura del glóbulo graso de la leche, según King.

Muchos de los enzimas con actividades importantes para las propiedades de la leche, como la fosfatasa alcalina y la xantino-oxidasa, también estarían asociadas a esta membrana. Aunque confiere bastante estabilidad a la grasa de la leche en condiciones normales, la membrana puede ser atacada fácilmente por múltiples factores (microorganismos, actividades mecánicas, cambios de temperatura...) que favorecen la unión de los glóbulos grasos y la desestabilización del sistema.

11.3. Derivados lácteos

Los derivados lácteos son una gran gama de productos que se obtienen al someter a la leche a determinados procedimientos tecnológicos. Los grupos que distingue nuestro CAE son los siguientes:

- Nata.

- Mantequilla.
- Quesos y quesos fundidos.
- Sueros lácteos.
- Caseína.
- Requesón.

Podríamos considerar también como derivados los productos obtenidos a partir de leches fermentadas o acidificadas, aunque en el CAE se contemplan como leches especiales.

En este epígrafe nos referimos a los derivados lácteos atendiendo a los procesos tecnológicos implicados en la elaboración de cada uno de ellos; así son tres los grupos: el primero comprende los productos obtenidos al separar la materia grasa de la leche; en el segundo, los productos proceden de la coagulación de las proteínas y la separación de la fracción hidrosoluble; el tercer grupo lo componen productos resultantes de la fermentación o de la acidificación de la leche.

11.3.1. Derivados lácteos obtenidos por separación de la materia grasa

□ Nata

Ya se ha indicado que la nata o crema de la leche es un producto rico en materias grasas separado de la leche. Esta separación puede ocurrir espontáneamente, al dejar la leche en reposo, o provocarse de manera artificial, mediante acción mecánica, como la centrifugación o por otros mecanismos, como los cambios de temperatura.

La formación espontánea de la crema es un proceso lento que sucede en régimen laminar, es decir, sin turbulencia. La tendencia de los glóbulos lipídicos a coalescer y a ascender hacia la superficie se ve favorecida por la presencia de aglutininas en su superficie. Este fenómeno se puede acelerar con diferentes técnicas, como los separadores centrífugos utilizados en la industria.

El resultado de aplicar la técnica de separadores centrífugos es la obtención de la crema por un lado, y, por otro, de la **leche descremada** (90%), que contiene entre un 0,05% y un 0,06% de grasa. La crema contiene la práctica totalidad de la grasa y de las vitaminas liposolubles, así como un porcentaje elevado de agua (60% - 70%). Tras su obtención se pasteuriza y, a partir de ella, se elabora, entre otros muchos productos, la mantequilla.

Una vez separada la nata, se puede proceder a su homogeneización para reducir el volumen de glóbulos grasos, y a su esterilización. En función del contenido

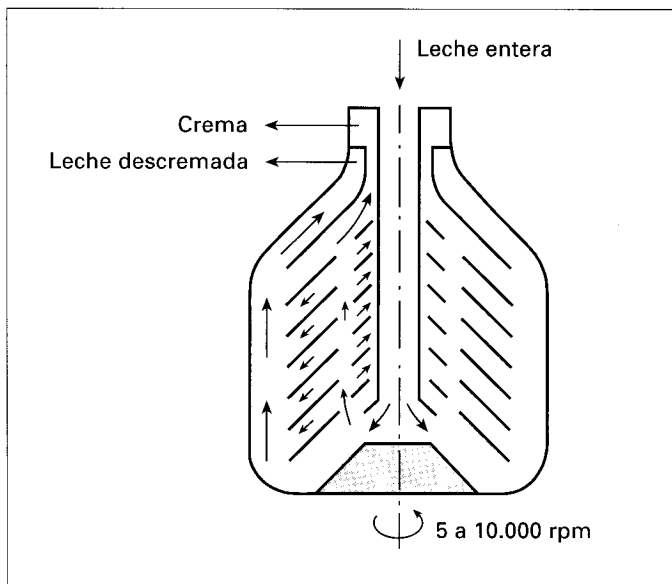


Figura 11.4. Funcionamiento de un separador centrífugo de materia grasa de la leche.

lipídico, cabe distinguir tres tipos de nata: la **doble nata** (como mínimo, el 50% de su peso es grasa), la **nata** (el mínimo es del 30%) y la **nata delgada** (el mínimo de grasa es de un 18%). Se ha de conservar mediante refrigeración a menos de 8°C o por congelación.

Las principales características físico-químicas de las natas destinadas al consumo directo son éstas:

- Contenido mínimo de materia grasa de un 18% en peso. Las propiedades de la materia grasa corresponderán a las de la leche de origen.
- Ausencia de aspecto grumoso, filamentosos o coposo.
- Acidez máxima, expresada en ácido láctico, de 0,65 g/100 ml.

Cada una de las modalidades de nata indicada se destina a elaborar un producto concreto. Así, las de mayor contenido graso se utilizan para la obtención de mantequilla, mientras que las que menos grasa tienen se destinan a preparar natas comerciales. En el primer caso se añaden microorganismos de fermentación acidófila y productores de aroma de la mantequilla; en el segundo, se puede añadir glucosa y sacarosa para preparar natas dulces, aditivos para estabilizar, neutralizar y aromatizar el producto o gases inocuos para elaborar nata batida o montada.

□ Mantequilla

La mantequilla es el producto graso que resulta de la leche o nata higienizadas tras aplicar un procedimiento mecánico. El método tradicional consiste en dejar reposar la nata después de extraerla para que sufra un pro-

ceso de acidificación y posteriormente se bate hasta transformarla en mantequilla. En la actualidad, después de proceder a la pasteurización de la nata, se refrigera y se bate. También es posible añadir a la nata fermentos lácteos puros que desencadenan su acidificación y aromatización. La acidificación, que sucede de forma espontánea al dejar la nata en reposo durante unas horas, facilita la elaboración de la mantequilla tras el batido y la dota de su aroma característico.

Gracias al batido se consigue que la nata, emulsión de grasa en una fase acuosa, quede convertida en mantequilla, emulsión de una fase acuosa en grasa. En el transcurso de esta acción se separa la **mazada** o **suero de mantequería**. La mantequilla formada debe ser lavada y amasada después. La coloración final oscila entre el blanco y el amarillo, lo que depende de la región, de la alimentación y de la estación del año. Debido a su tendencia a deteriorarse por la oxidación lipídica, ha de refrigerarse y protegerse del aire y de la luz. Si se mantiene a una temperatura entre -6 °C y -8 °C, puede conservarse en perfecto estado durante varios meses. No obstante, existen colorantes artificiales que se añaden en función de los gustos de los consumidores. En algunos países, se añade sal, para modificar el sabor del producto más que para mejorar su conservación.

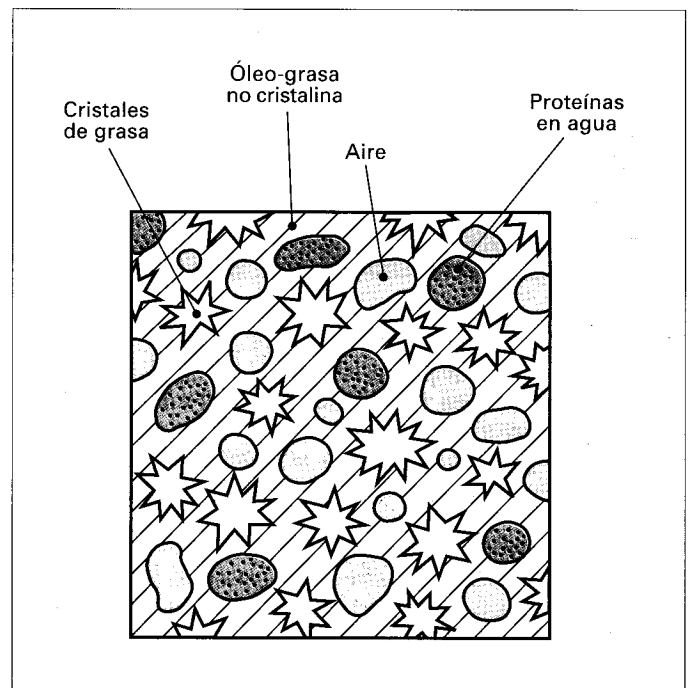


Figura 11.5. Estructura de la mantequilla.

El producto, en el momento de su venta, tendrá una consistencia sólida y homogénea, con un color amarillo más o menos intenso, y un olor y sabor típicos. La humedad máxima será del 16% en peso, con las características propias de la leche o nata de procedencia.

11.3.2. Derivados lácteos obtenidos por coagulación de las proteínas

El producto más característico de este grupo es el queso en sus infinitas variedades, aunque se pueden obtener otros derivados, dependiendo de las transformaciones más o menos complejas que se realicen en la leche de partida.

En este apartado analizaremos las fases que se siguen para la obtención del queso como prototipo de estos derivados; en la unidad siguiente se presentarán otros derivados lácteos que tienen su origen en esta clase de transformación.

Según el CAE se entiende por **queso** el producto fresco o maduro, sólido o semisólido, obtenido por separación del suero después de la coagulación de la leche natural, de la desnatada total o parcialmente, de la nata, del suero de la mantequilla, o de una mezcla de alguno o de todos estos productos, por la acción del cuajo o de otros coagulantes apropiados, con o sin hidrólisis previa de la lactosa.

Asimismo, es queso el producto conseguido mediante técnica de elaboración que comprenden la coagulación de la leche o de materias procedentes de la leche, las cuales den un producto final que posea las mismas características que el definido en el párrafo anterior, y siempre que la relación entre la caseína y las proteínas séricas sea igual o superior a la de la leche.

PARA SABER MÁS...

Hay que remontarse a la Prehistoria para encontrar los orígenes del queso. Al utilizarse los estómagos de los animales para transportar la leche, una sustancia enzimática presente en la pared de éstos, el **cuajo** o **quimosina**, provocaba, al cabo de un tiempo, la coagulación de las proteínas lácteas y la formación de un producto apto para el consumo y, en muchos casos, sabroso.

Actualmente, entre un 10% y un 15% de la leche producida en los países occidentales se destina a la elaboración de quesos. El número de variedades es enorme, de modo que, en algunos países, alcanzan varios centenares. En su fabricación puede utilizarse leche de vaca, de oveja o de cabra, o mezclas de ellas, y puede ser pasteurizada o no, según el sabor y la composición que se desee obtener. En realidad, podemos considerar el queso como un sistema de conservación de los dos constituyentes insolubles de la leche: la caseína, que es el "armazón" del producto, y la grasa, presente en concentraciones variables.

En la elaboración del producto hay tres grandes etapas: la coagulación, el desuerado y la maduración. Según el queso que se fabrique, se pueden introducir otras fases, como el prensado para el tipo Saint Paulin o el cocido para el tipo gruyer, o bien eliminar alguna de ellas, como sucede con los quesos frescos, que no sufren maduración.

□ Cuajado o coagulación de la leche

El cuajado se puede conseguir acidificando la leche hasta un pH de 4,65, en que precipita la caseína entera y desmineralizada. A esta acidificación se llega mediante la adición de ácidos o la siembra de la leche con levaduras lácticas. Este sistema es poco utilizado en quesería, pues produce una cuajada frágil y friable.

La forma más habitual es la coagulación por cuajo u otra proteasa coagulante. El cuajo es un conjunto de enzimas que se extrae del cuajar, cuarto estómago de rumiantes jóvenes sin destetar, y se añade como extracto líquido concentrado, como pasta o como sólido; su potencia se valora en relación con su actividad enzimática. El cuajo se compone fundamentalmente de quimosina, con un 10% a un 20% de pepsina. Ambos enzimas son similares y proceden de un precursor inactivo que se activa con la presencia de un descenso del pH, y son proporcionados por las propias bacterias lácticas que lo inducen. No obstante, por su precio elevado y su escasez, se tiende a utilizar mezclas de pepsina de cerdo y cuajo u otras proteasas. En otras técnicas se usan otros enzimas con poder coagulante, como los obtenidos a partir de cepas microbianas; es el caso de los extractos de mohos, por ejemplo, *Mucor pusillus* o *Mucor miehei*.

La acción de la proteasa produce tres tipos de reacciones consecutivas: una **reacción primaria**, que consiste en la ruptura de la molécula de caseína κ , separando un péptido grande de carácter ácido y con gran poder de solvatación, es decir, con capacidad de disolver, lo que explica su función de coloide protector de la caseína κ y el mecanismo de la coagulación. El resto de la molécula se denomina paracaseína κ ; es hidrófobo, insoluble y con carácter básico. Esta reacción primaria se puede producir dentro de un amplio margen de temperatura, de 0°C a 50°C y es indispensable la presencia de calcio para que se suceda.

La **reacción secundaria** o formación de la cuajada propiamente dicha, consiste en una reordenación molecular y formación de un retículo entre las moléculas de caseína, unidas por puentes en los que interviene activamente el calcio. Esta fase puede ser muy lenta si se lleva a cabo a temperaturas inferiores a 15°C; no existe coagulación por debajo de 5°C. Una aplicación industrial es la fabricación en continuo de cuajada de quesería: se añade cuajo a la leche en frío y se coagula después por ascenso de la temperatura.

Finalmente, la **reacción terciaria** depende de la existencia o no de suficientes enzimas para producir nueva proteólisis y liberar más polipéptidos.

❑ **Desuerado**

El desuerado es la eliminación del suero de la cuajada. Así se extrae alrededor del 95% del agua inicial de la leche. El gel láctico formado en la fase anterior está compuesto por una compleja trama de canalículos a modo de esponja. Esta red se va contrayendo progresivamente, determinando la expulsión del lactosuero. Este fenómeno se puede acelerar mediante agitación, troceado, prensado, modificaciones térmicas –el calor acentúa la coagulación, con lo que se consigue un producto más seco y más duro– o acidificación.

El salado favorece el secado por ósmosis y modifica el sabor. Asimismo influye sobre la flora bacteriana, impidiendo que proliferen gérmenes nocivos, efecto tanto más importante cuanto más húmeda sea la pasta. Lentifica la actividad enzimática, aumenta ligeramente la solubilidad de las proteínas y favorece la formación de corteza, especialmente, en los quesos “frotados”. Se suelen utilizar salmueras, que tienen concentraciones, en promedio, de 1% a 2%; en algunos quesos azules y de cabra se puede llegar hasta un 3% o 4%. El salado se puede hacer antes del moldeado con la cuajada escurrida.

Es, en este momento, cuando la cuajada se deposita en los moldes específicos de cada tipo de queso, el cual adoptará la forma que muchas veces lo caracteriza. El lactosuero, que supone un 90% del volumen de la leche, hasta hace poco ha sido desechado, aunque, en la actualidad, se están desarrollando técnicas que permiten la recuperación de la lactosa y de parte de las proteínas, que se puede destinar a la alimentación animal o usarse como componente de otros productos alimenticios. Asimismo, el lactosuero contiene algunas sales minerales y vitaminas hidrosolubles.

❑ **Afinado o maduración**

En los llamados quesos frescos esta fase no tiene lugar. En la maduración intervienen los enzimas presentes en la propia leche, los segregados por las bacterias de la cuajada y el propio cuajo. El resultado final varía para cada clase de queso y depende de múltiples circunstancias: humedad, temperatura, aireación, altitud, contenido en sal, grado de acidez... De todas formas, hay tres hechos comunes en este proceso: la fermentación de la lactosa, la hidrólisis de la grasa y la degradación de las proteínas.

La fermentación de la lactosa es consecuencia de la actividad de los fermentos lácteos, que da lugar al ácido láctico y a diversas sustancias que dan sabor. Los efec-

tos de la fermentación son diversos: influye en el aroma del producto –más en quesos frescos o poco madurados–, protege al queso del medio por disminución del pH, produce solubilización de minerales unidos a la caseína y modifica la textura del queso.

El ácido formado se neutraliza por el calcio de la pasta o por el amoníaco producido por la microflora, o se degrada en fermentaciones secundarias. De estas últimas es importante la fermentación propiónica, que genera CO₂, responsable de los ojos o agujeros de la pasta al quedar retenido en ella.

La microflora es uno de los elementos básicos que intervienen en la maduración. Suele ser mixta, compleja y en evolución. La flora láctica (lactobacilos) tiende a disminuir durante la maduración aunque en pasta prensada y dura puede resistir bastante tiempo. Los *enterococos*, que abundan en quesos fabricados con leche cruda o con tratamientos térmicos moderados, producen proteasas que degradan la caseína. Las levaduras están presentes en el interior y el exterior de la pasta y suelen resistir bastante bien el pH ácido y el salado. Finalmente, encontramos mohos, normalmente en superficie, salvo en algunos tipos de queso, como los quesos azules en los que su crecimiento se facilita por inoculación. Las cepas más utilizadas son las de *Penicillium camemberti* para pastas blandas (queso Camembert) y las de *Penicillium roqueforti* para quesos azules (queso de Roquefort).

Las diferentes actividades enzimáticas hacen posible la transformación final de la cuajada en queso. En esencia, esta actividad es una digestión progresiva de la caseína; como consecuencia de esta proteólisis, la consistencia del producto se hace más untuosa y se desarrollan aromas.

Las proteasas y peptidasas que intervienen son de origen variado: el propio enzima utilizado para la coagulación de la cuajada; proteasas de bacterias lácticas, más activas en pastas duras; proteasas de hongos; y proteasa nativa de la leche, si bien su función es muy limitada al principio.

La lipólisis es más limitada y no influye en la textura; importa más en la formación de los aromas. Son especialmente relevantes las lipasas de mohos y de micrococos; la lipasa nativa de la leche, a los pH que se obtienen en los quesos, prácticamente no actúa. La sal inhibe la actividad enzimática, pero mucho más la de las proteasas que la de las lipasas.

Teniendo en cuenta las tres fases de elaboración que hemos analizado, y aplicando las modificaciones correspondientes, resulta que la variedad de las denominaciones de los quesos existentes es enorme, de varios centenares, si bien, probablemente, haya menos de medio centenar de tipos de preparaciones, que se

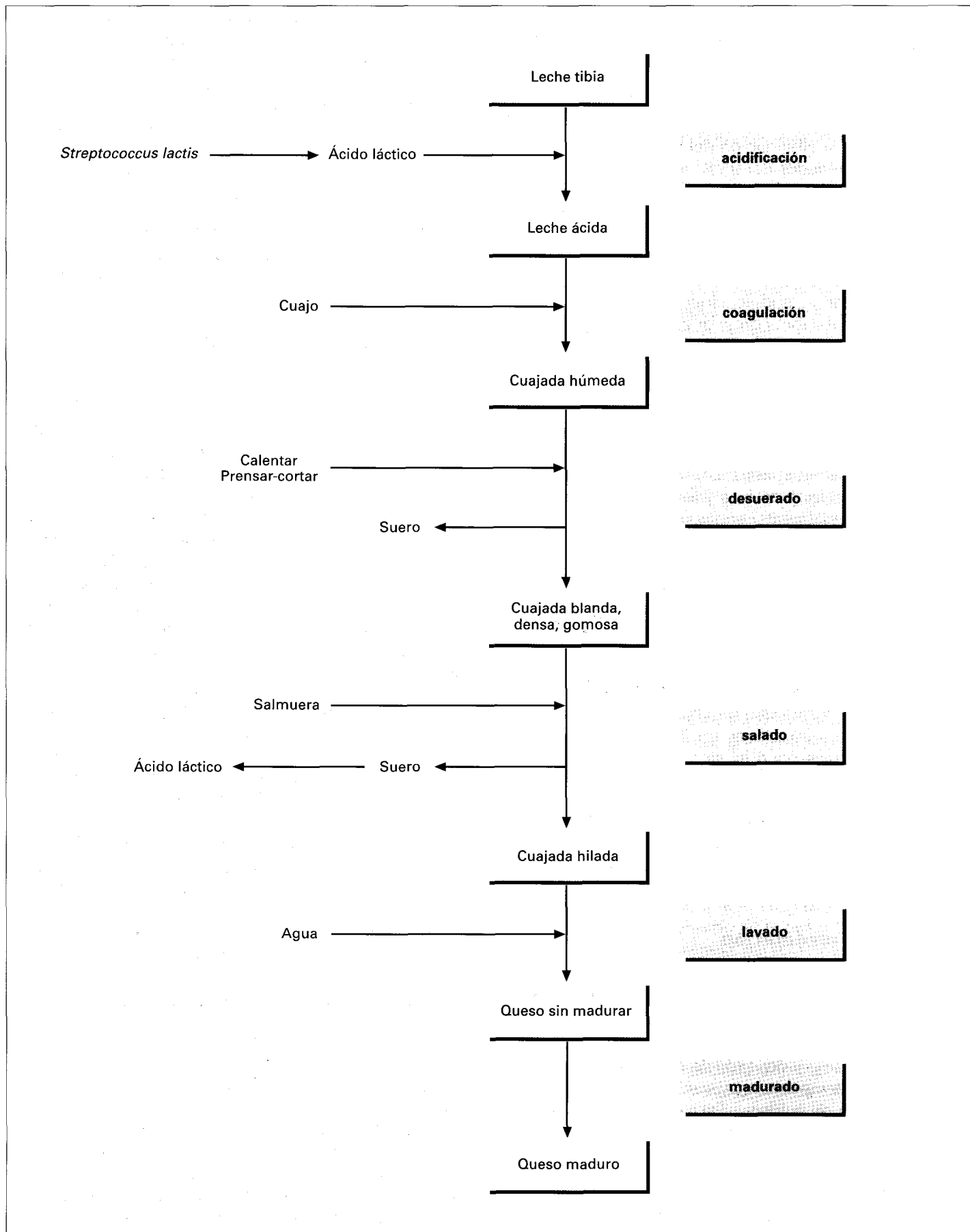


Figura 11.6. Diagrama de las fases de elaboración del queso.

pueden clasificar según diversos criterios; así, atendiendo al procedimiento de elaboración hay dos clases de quesos.

- **Quesos frescos y blancos pasteurizados.** No necesitan maduración para poder ser consumidos. El queso blanco pasteurizado es aquel queso fresco que se somete a pasteurización después de formado el coágulo. En este grupo se incluyen, entre otras, las variedades Suisse, Demi-Sel, Burgos, Camembert y Brie.
- **Quesos afinados, fermentados o maduros.** La dureza y consistencia de la pasta puede ser semi-blanda, dura y muy dura. La maduración corresponde a la actividad de bacterias, de hongos o de ambos a la vez. Algunos de los tipos de grasas más conocidos se encuentran aquí: de Cabrales, de Tresviso, de Roquefort, de Cheddar, manchego, Emmenthal, Gruyer, parmesano, etc.

Dependiendo del contenido graso tenemos **quesos extragrasos** (más del 60% de grasa), **grasos** (entre 45% y 60%), **semigrasos** (entre 25% y 45%), **semidesnatados** (entre un 10% y 25%) y **desnatados** (menos del 10% de grasa).

Los **quesos fundidos** resultan de la molturación y mezcla, fusión y emulsión con tratamiento térmico de una o más variedades de queso, con o sin adición de agentes emulgentes, de leche y productos lácteos y de otros productos alimenticios. Se clasifican exactamente igual que los demás quesos, valorando su contenido lipídico.

11.3.3. Derivados lácteos obtenidos por fermentación o acidificación

Con el término acidificación se remite a un conjunto de productos de consistencia semisólida en los que se ha transformado la lactosa en ácido láctico u otros compuestos, por la acción de microorganismos específicos. El ácido láctico actúa sobre los componentes proteicos, modificando su estado coloidal y coagulándolos parcialmente; así se consigue la característica consistencia final del producto.

La acción de los microorganismos no solo afecta a la fermentación de los glúcidos, sino también a otros nutrientes que, además de proporcionar ciertas propiedades nutricionales, son responsables de la consistencia, el gusto y el aroma específicos.

La leche, de forma natural, contiene abundantes bacterias lácticas, las cuales también se encuentran en muchos productos vegetales, en forrajes y en el intestino de los animales. En lactología, las especies más interesantes pertenecen a los géneros *Streptococcus*, *Leu-*

conostoc y *Lactobacillus*; son gérmenes anaerobios o microaerófilos, mesófilos o termófilos, no patógenos. Sus características de mesofilia y relativa termofilia son muy importantes desde el punto de vista tecnológico, pues permiten su desarrollo de forma más rápida que las especies peligrosas. Con él transforman la lactosa en ácido láctico, lo que provoca el descenso del pH que, por debajo de un valor de 4,5, impide el desarrollo de la mayor parte de las bacterias patógenas.

Para controlar y acelerar este proceso, se añade a la leche, previamente pasteurizada, bacterias lácticas seleccionadas y conservadas a -40°C , o se recurre a la liofilización.

□ Leches fermentadas ácidas

En las leches fermentadas ácidas se produce ácido láctico por fermentación de la lactosa. Cuando la temperatura de la leche desciende a 45°C , se siembran las cepas de *Lactobacillus bulgaricus* y de *Streptococcus thermophilus*, se agita la leche y se reparte en recipientes apropiados para su incubación a 40°C o 50°C . Después, se enfría a menos de 10°C para detener la acidificación. La actividad del *Streptococcus* tiene relación con el aroma del yogur y la del *Lactobacillus*, con la acidificación. Además, se puede añadir diversos aromas y frutas. Recientemente se han introducido otros microorganismos, como el *Lactobacillus acidophilus*, con el que el producto tiene menos aroma, pero es más cremoso.

El más conocido de este grupo es **yogur**. El producto final debe contener, al menos, 106 bacterias vivas por gramo y, al menos, un 0,8% de ácido láctico. La leche utilizada, una vez pasteurizada, se enriquece con leche en polvo, con un máximo de un 5%. El yogur es tecnológicamente muy versátil, ya que se puede coagular parcialmente y batir; de este modo se obtiene el yogur líquido; asimismo, se puede coagular directamente en su envase o coagular en masa y luego envasar. Existen otros productos similares, como el **leber**, originario de Egipto y Oriente Medio; el **tarto**, de Centroeuropa y Hungría y el **mazun** armenio.

□ Leches fermentadas ácido-alcohólicas

En las leches fermentadas ácido-alcohólicas se utilizan levaduras que fermentan la lactosa y producen ácido láctico, CO_2 y alcohol. El ejemplo más característico es el **kefir**, procedente del Cáucaso, que se origina a partir de los **granos del kefir**, en los que hay levaduras, como *Sacharomyces kefir*, y bacterias lácticas, como *Streptococcus cremoris*, *Streptococcus lactis* y *Lactobacillus caucasicus*. Esos granos se añaden a la leche pasteurizada y se mantienen 24 horas en reposo. En ese tiempo se cuaja la leche y, a continuación, se separan los granos y el resto del producto se envasa en botellas, que se

conservan a 15°C de uno a cuatro días. El resultado final es una bebida ácida y alcohólica, por las fermentaciones correspondientes, y gaseosa, por liberación de

CO₂. Otros productos semejantes al kefir son el **koumis** de Asia central y Rusia y el **fuli** de Finlandia.

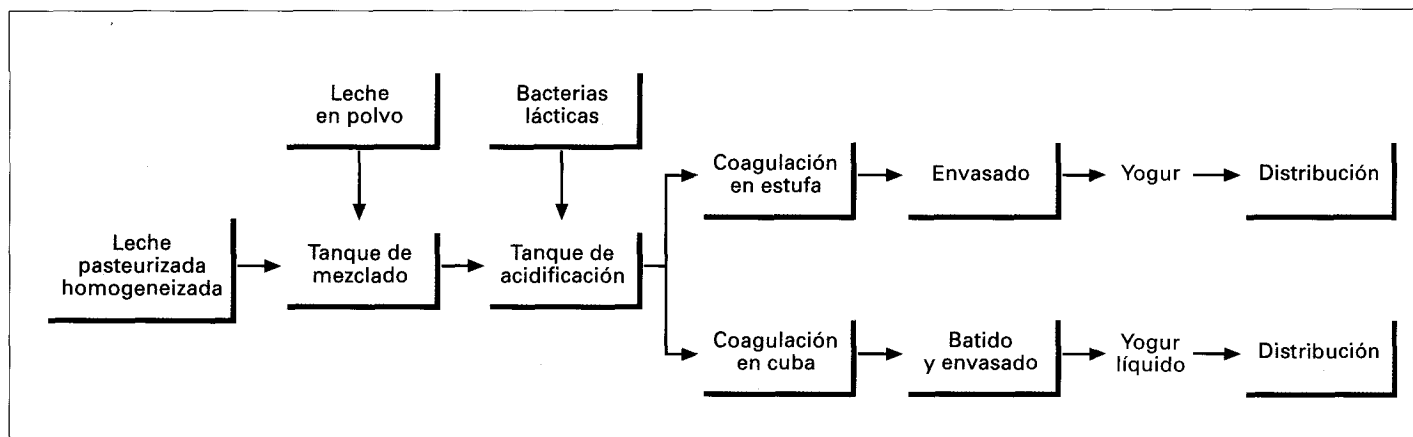
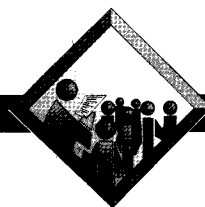


Figura 11.6. Diagrama de las fases de elaboración del yogur.

ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE

- 1 Utilizando leche cruda o, homogeneizada, comprobación de la separación de la grasa y del efecto sobre las proteínas modificando el pH y la temperatura.
- 2 Preparación artesanal de la mantequilla y el yogur, identificando las etapas que se suceden en ambos procesos y razonando los fenómenos físico-químicos y biológicos que se producen en ellas.
- 3 Manejando fuentes de información (bibliográfica general, publicaciones e informes de cámaras agrarias, de asociaciones de ganaderos, etc.), elaboración de informes-resumen sobre los tipos de leche que se producen y comercializan en la zona, el volumen destinado a su consumo directo, los tipos de derivados lácteos que se fabrican, el volumen y tipos de leches para estos derivados, las clases de derivados industriales, etc.
- 4 Confección de informes-resumen sobre las variedades de queso que se elaboran y consumen en la zona, recogiendo datos sobre el tipo de leche utilizada, la clase de pasta, el momento del salado, la clasificación de los quesos, su contenido graso...
- 5 Realización de cuadros-resumen en que aparezcan las principales características nutricionales de cada uno de los productos analizados en la unidad.



MODIFICACIONES DURANTE LOS TRATAMIENTOS TECNOLÓGICOS Y DE CONSERVACIÓN DE LOS PRODUCTOS LÁCTEOS

1. Variedades de leche de vaca.
2. Alteraciones en la composición química de la leche.
3. Determinaciones analíticas de control en la leche.
4. Otros derivados lácteos.
5. Determinaciones analíticas de control en derivados lácteos.

12.1. Variedades de leche de vaca

Como se ha indicado en la unidad de trabajo anterior, la leche natural es el producto íntegro, no alterado ni adulterado y carente de calostros, del ordeño higiénico, regular completo e ininterrumpido de vacas sanas y bien alimentadas. Consumirla tal y como se obtiene del

animal puede ser muy peligroso, por lo que es necesario higienizarla para destruir las bacterias patógenas que pudiera tener.

12.1.1. Homogeneización de la leche

La homogeneización es una transformación tecnológica común a diferentes tipos de leche. La leche homogeneizada es aquella en la que se ha reducido sensiblemente el tamaño de los glóbulos grasos e, incluso, de parte de las micelas proteicas. Para conseguirlo, se hace discurrir la leche bajo una presión elevada y a unos 70°C, por segmentos u orificios muy estrechos que hacen que disminuya de manera progresiva el diámetro de las partículas, aproximadamente, a 1/5 del inicial.

Así se retrasa la coalescencia, lo que aumenta la estabilidad del producto; por tanto, la leche, no forma nata, adquiere un mayor grado de blancura y mejora su consistencia. Además, se facilitan los procesos digestivos, con una actuación rápida y eficaz de las lipasas y de las proteasas pancreáticas. Sin embargo, por esta misma razón, la leche se vuelve más sensible a las lipasas endógenas contenidas en ella y es menos resistente al ataque de los gérmenes por rotura de inmunoglobulinas.

EDUCACIÓN EN NUTRICIÓN...

El procedimiento doméstico para higienizar la leche natural o cruda consiste en cocerla. En la actualidad, este paso previo y obligatorio antes de tomarla no suele ser necesario, ya que la mayor parte de la leche de consumo doméstico ha sido sometida a algún procedimiento de higienización. No obstante, si se va a tomar leche cruda directamente después del ordeño, se debe someter a un calentamiento eficaz para destruir los gérmenes patógenos. Se ha de calentar hasta la ebullición completa, lo que corrientemente se conoce como subida de la leche, al menos tres veces, dejando entre cada subida un pequeño espacio de tiempo, el suficiente para que la capa de nata formada baje. De esta manera aseguramos que la temperatura precisa para eliminar los gérmenes patógenos ha alcanzado a todo el volumen del producto.

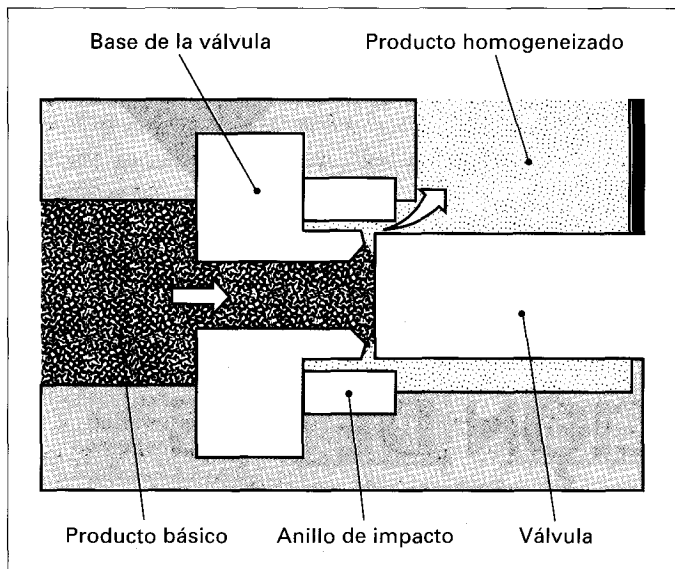


Figura 12.1. Esquema del corte transversal de una válvula homogeneizadora de leche.

El proceso de homogeneización se suele realizar tras el filtrado inicial de la leche, que se hace al recibir el camión cisterna en la central lechera.

12.1.2. Tipos de leche según el sistema de higienización

□ Pasteurización

La leche pasteurizada es la natural, entera, desnatada o semidesnatada, que ha sido sometida a un proceso tecnológico adecuado que asegura la destrucción de los gérmenes patógenos y la casi totalidad de la flora banal, sin que se modifique sensiblemente su naturaleza físico-química, sus características biológicas, ni sus cualidades nutritivas.

La pasteurización se ha de hacer al poco tiempo de obtener la leche. Además de erradicar por completo los gérmenes patógenos y una gran parte de los saprofitos, también destruye ciertos enzimas de actividad indeseable, como las lipasas que, al atacar las gotas lipídicas, causan el característico enranciamiento. No obstante, quedan algunas bacterias saprofitas vivas, por lo que la leche pasteurizada se debe enfriar rápidamente a menos de 4°C y envasarse en recipientes adecuados. Deberá llegar al consumidor en las treinta y seis horas siguientes y, durante este tiempo, se ha de conservar a temperaturas inferiores a 8°C.

Nutricionalmente, la pasteurización ocasiona alteraciones, aunque puede modificar el sabor ligeramente. La tiamina sufre una reducción inferior a un 10% y el ácido ascórbico desaparece en su práctica totalidad, si bien, dada la escasez de éste en la leche, su supresión carece de importancia.

La pasteurización, como primer tratamiento térmico de uso frecuente y estandarizado estableció su par tiempo-temperatura para garantizar la eliminación del *Mycobacterium tuberculosis*; con posterioridad se demostró que *Coxiella burnetti* podía soportar estos valores de pasteurización, por lo que fue necesario aumentar los tiempos. Las sucesivas técnicas se han ido adaptando a la colonización de diferentes gérmenes en la leche que han causado enfermedades en la población. En la actualidad, se estudia la posibilidad de que determinados serotipos de *Listeria monocytogenes* sean capaces de sobrevivir a 71,7°C durante quince segundos, los valores de pasteurización más extendidos, ya que se han encontrado gérmenes de esta especie en quesos frescos con mayor frecuencia de la esperada.

Así pues, las técnicas de pasteurización son diversas; en general, podemos hablar de técnicas altas y bajas, y técnicas lentas y rápidas. Las bajas son aquellas que no sobrepasan los 80°C y las lentas, las que se realizan durante varios minutos.

La pasteurización se puede llevar a cabo en tanques cerrados, que calientan la leche a 63°C durante treinta minutos, o en cambiadores de calor, en los que se consiguen temperaturas más altas: de 72°C a 75°C durante quince segundos o instantáneamente a 95°C (Fig. 12.2).

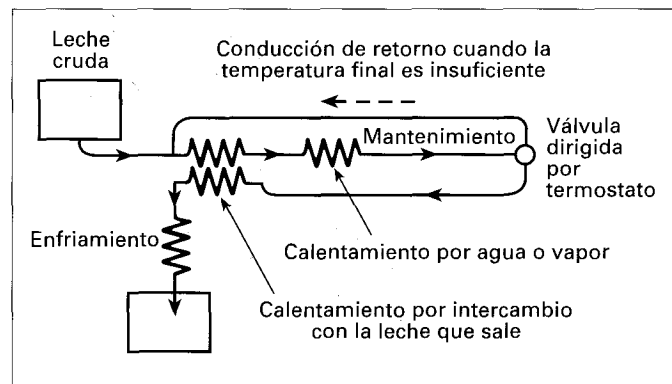


Figura 12.2. Esquema de un pasteurizador de leche.

Para asegurarse de que la higienización es la idónea se realiza la prueba de la fosfatasa alcalina, que se inactiva a una temperatura similar a la de las bacterias patógenas. En el caso de que se detecte actividad de este enzima, mediante una reacción de hidrólisis de un fenol-fosfato, si hay liberación de fenol, con un reactivo orgánico se obtiene una reacción coloreada indicativa de fallo en la técnica.

El riesgo opuesto, esto es, que el tratamiento térmico sea excesivamente intenso, ocasionando alteraciones en los componentes de la leche y modificando sus cualidades nutritivas, se comprueba mediante la actividad de otro enzima, la peroxidasa: si no hay actividad de peroxidasa, el tratamiento térmico habrá sido excesivo.

□ Esterilización

La esterilización es el tratamiento térmico con el que se pretende eliminar toda forma de vida microbiana en el producto al que se aplique. Se consigue con temperaturas más altas durante tiempos mayores, respecto a la pasteurización.

Tras una homogeneización previa y, en ocasiones, una pasteurización, la leche se somete a una temperatura de 115°C durante quince minutos o de 125°C durante cuatro. Las técnicas han ido evolucionado, de forma que, en la actualidad, se prefiere trabajar sobre una base de alta temperatura-tiempo corto (HTST); tras la esterilización se procede a un enfriado rápido.

La leche esterilizada se puede envasar antes o después de ser sometida al incremento térmico, lo que está en función del método que se vaya a utilizar. En cualquiera de los casos, el resultado es la desaparición absoluta de los microorganismos patógenos, de sus formas de resistencia, de las esporas, y de la flora saprofita. Si el tratamiento térmico se realiza en ausencia de oxígeno, se consigue evitar la oxidación de las grasas y el desagradable sabor a leche cocida. Si, además, el envasado es al vacío, se consigue un alimento de alta calidad y larga conservación.

La esterilización es un método muy conveniente cuando no se dispone de una línea de refrigeración segura para distribuir la leche. Al carecer de gérmenes, y a diferencia de la leche pasteurizada, el tiempo de conservación es muy largo mientras exista integridad del envase.

No obstante, en esta técnica hay importantes alteraciones de los componentes lácteos: caseínas parcialmente defosforiladas, caseína κ desializada, proteínas solubles desnaturalizadas, reacciones de Maillard con pardeamiento y gusto a leche cocida, desplazamiento del equilibrio calcio/fósforo hacia la insolubilidad y la modificación de la capa superficial de las micelas, reduciéndose su estabilidad, lo que obliga a una homogeneización previa al tratamiento.

□ Procedimiento UHT

El procedimiento UHT (*ultra high temperature*) es un tratamiento térmico entre los dos anteriores y se basa en el principio HTST. Se pueden reducir los tiempos incrementando la temperatura; así se consigue mantener el valor nutritivo y el sabor. De este modo se obtiene la **leche UHT**, a 135°C en un período de diez a quince segundos, y la **leche uperizada** en la que, mediante el vapor, se llega a 150°C durante uno a tres segundos.

En estas técnicas se trata de reunir las ventajas de la pasteurización y de la esterilización y de superar los

inconvenientes de ambas. Con ellas los nutrientes se dañan menos que con la esterilización y se obtienen tiempos de conservación a temperatura ambiente superiores a los de la pasteurización. No obstante, existe el riesgo –raro en la leche entera, más frecuente en la concentrada– de espesamiento y gelificación en ausencia de todo tipo de desarrollo microbiano, que en la actualidad es difícil de explicar.

□ Efectos del calentamiento sobre los componentes de la leche

La aplicación de los procedimientos explicados es destruir los gérmenes que pueden existir en la leche, con una doble finalidad: sanear el producto y alargar su tiempo de conservación. Sin embargo, como en cualquier tratamiento industrial, también presenta inconvenientes, fundamentalmente un cambio de los nutrientes que integran la leche, con modificaciones importantes en algunos casos y menos en otros, según la intensidad del tratamiento usado.

La lactosa, entre 110°C y 130°C, pierde el agua de cristalización; a temperaturas superiores a 115°C, amarillea, y a temperaturas que superan los 175°C, se oscurece y carameliza. Si no se calienta de forma instantánea, sino gradual, estas reacciones suceden a temperaturas sensiblemente más bajas; a 120°C, en veinte minutos, se puede producir oscurecimiento y la leche toma sabor a cocida.

A todo esto hay que añadir el hecho de que la descomposición de la lactosa por calor origina compuestos ácidos: primero produce hidroximetilfurfural, que es lábil e inestable, y que se descompone rápidamente en compuestos ácidos, entre ellos, el fórmico. Igualmente, por interacción entre la lactosa y la caseína, aparecen compuestos de Maillard.

Todas estas modificaciones de la lactosa desembocan en dos efectos fundamentales: formación de ácidos que estimulan el crecimiento de bacterias lácticas y aparición de productos solubles en éter que pueden producir errores en las determinaciones analíticas de grasas.

En las proteínas, el efecto principal es la desnaturalización, aunque las fracciones proteicas muestran diferencias de comportamiento: las solubles se desnaturalizan a temperaturas inferiores a 100°C, mientras que la caseína lo hace siempre a temperaturas superiores.

En las proteínas solubles, esta desnaturalización revierte en una mejor digestibilidad, pues ofrece mejor acceso a las proteasas; además, supone una insolubilización de esta fracción más o menos grande, según sea la temperatura alcanzada. Las velocidades de insolubilización difieren para cada una de las fracciones proteicas.

En cuanto a la caseína, los efectos fundamentales son: disminución del poder estabilizante de la caseína κ , reducción de la capacidad de fijación del calcio, aumento de grupos ionizados por rotura de enlaces y grupos ácidos y básicos, liberación de nitrógeno y fósforo.

Determinar esta liberación sirve para indicar el nivel de degradación de las caseínas.

12.1.3. Tipos de leche según el contenido nutricional

La mayor parte de las modificaciones que se hacen en la leche afectan a su contenido en materia grasa; por razones tecnológicas y químicas, estas modificaciones pueden repercutir secundariamente en algún otro nutriente; los restantes se refieren a enriquecimientos en algún componente específico. Así, se distinguen estas modalidades:

- **Leche entera:** contiene todos sus nutrientes.
- **Leche semidesnatada o semidescremada:** su cantidad de grasa y de vitaminas liposolubles es reducida.
- **Leche desnatada o descremada:** la materia grasa se ha reducido al mínimo compatible con las propiedades físico-químicas y organolépticas de la leche.
- **Leche modificada lipídicamente:** se trata de leche a la que se ha eliminado la grasa, la cual ha sido sustituida por aceites vegetales. Con esta manipulación se busca un perfil graso que contribuya a mejorar la calidad lipídica de la dieta, en especial para prevenir y tratar enfermedades cardiovasculares.
- **Leche enriquecida:** en este grupo se incluye la leche a la que se ha añadido cualquier nutriente, como la **leche albuminosa**, a la que se añaden proteínas lácteas o caseína, la **leche dextrino-malteada**, con adición de dextrino-maltosa u otros carbohidratos autorizados, y la **leche vitaminada** con incremento en los valores de una o de varias vitaminas. Muchas veces, son leches desnatadas a las que se repone su contenido en vitaminas A y D; igualmente existen en el mercado leches enriquecidas en calcio.
- **Leches a las que se añaden aromas y estimulantes:** los aromas son afrutados o estimulantes y suelen proceder del cacao. En el envase debe consignarse explícitamente el tipo de sustancia que se ha adicionado.

12.1.4. Tipos de leche según la presentación física

Además de la leche líquida, la leche se puede comercializar bajo tres formas principales: evaporada, condensada y en polvo.

□ Leche evaporada o concentrada

Tras la pasteurización y la homogeneización, se elimina parte del agua por evaporación bajo vacío. Se suelen utilizar concentraciones de 1/4 o 1/5 del volumen inicial. Con vistas a su consumo, es necesario reponer la misma cantidad de agua que se ha suprimido para una buena conservación de la composición química. Este método se puede aplicar a leche natural, entera, desnatada o semidesnatada.

La esterilización aumenta la viscosidad de la leche por agregación de micelas de caseína y puede acarrear la formación de grumos, la gelificación o la coagulación. Estos inconvenientes se evitan de dos maneras: por un lado, se atempera antes de su concentración a 90°C; por otra se utilizan agentes estabilizantes, como citrato, fosfato de sodio o cloruro cálcico. La pérdida de nutrientes son similares a las que sufre la leche esterilizada.

□ Leche condensada

La leche condensada se obtiene al añadir a la leche concentrada una cantidad de sacarosa similar a la de agua eliminada. El contenido final es de un 25% de agua, un 30% de materia seca de la leche original y un 45% de sacarosa. Dado este alto contenido en sacarosa, una parte de la lactosa cristaliza, y hay que evitar que se formen grandes cristales, que darían una textura terrosa al producto. Para ello, se favorece y acelera una cristalización controlada agitando la masa y sembrando polvo muy fino de lactosa cristalizada.

Este medio tan azucarado actúa como inhibidor del crecimiento bacteriano. Sin embargo, si no se extrae todo el aire del envase, es posible que se forme alguna gota de agua debajo de la tapa –en ella la concentración de azúcar es más baja– que favorece la proliferación de los gérmenes, principalmente, de mohos.

El sabor de la leche condensada es muy dulce; su consistencia, característicamente espesa y su capacidad energética muy elevada, lo que la convierte en producto muy atractivo para su consumo a cualquier edad, sobre todo, para los más jóvenes y para quienes practican deportes.

□ Leche en polvo

La leche en polvo es el producto seco y pulverulento que resulta de deshidratar la leche natural, entera total

Cuadro 12.1. Contenido nutricional promedio de diferentes tipos de leche (contenido en nutrientes para un vaso, 200 ml). (Adaptado de Mataix Verdú, J.; Carazo Marín, E.: *Nutrición para educadores*. Ed. Díaz de Santos. Madrid, 1995.)

Nutrientes	Leche entera	Leche semidesnatada	Leche desnatada	Leche modificada lipídicamente	Leche enriquecida
Energía (kcal)	156	117,6	86,4	139,2	99,9
Proteínas (g)	7,9	8,4	8,6	7,2	9,6
Glúcidos (g)	12,0	12,0	12,0	10,6	13,7
Lípidos (g)	8,9*	4,1	0,2	7,7**	0,7
Colesterol (mg)	33,6	21,6	0,0	0,0	0,0
Vitamina A (µg)	115,2	43,2	0,72	43,2	117,6
Vitamina B ₁ (mg)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Vitamina B ₂ (mg)	0,43	0,36	0,36	0,36	0,36
Vitamina B ₆ (mg)	0,05	0,17	0,17	0,17	0,17
Vitamina B ₁₂ (mg)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Vitamina C (mg)	4,80	2,40	2,40	8,4	2,40
Vitamina D (µg)	0,06	0,06	tr	2,4	0,74
Vitamina E (mg)	0,17	0,19	0,00	0,00	0,00
Niacina (mg)	1,92	0,48	0,48	0,48	0,48
Ác. fólico (µg)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Calcio (mg)	290,4	300	290,4	290,4	392
Fósforo (mg)	206,4	240	240	240	314
Magnesio (mg)	28,8	31,2	33,6	33,6	33,6

* A. G. saturados: 63%
A. G. monoinsaturados: 32%
A. G. poliinsaturados: 5%

** A. G. saturados: 15%
A. G. monoinsaturados: 70%
A. G. poliinsaturados: 15%

o parcialmente desnatada, que ha sido sometida a un tratamiento térmico equivalente –al menos, a la pasteurización–, el cual se ha realizado en estado líquido, antes o durante el proceso de fabricación. El calentamiento contribuye a estabilizar las proteínas y a inactivar a las lipasas. El contenido final en agua es de un 3% a 4%. Con el propósito de hacer la leche más soluble, después de su **secado**, se rehumedece con vapor y se vuelve a secar. Este proceso se denomina **instantaneizado** y reduce el llamado **apelotonamiento**.

Durante su conservación, la leche está sujeta a pardeamientos no enzimáticos: si no es descremada, la oxidación de lípidos puede causar alteraciones. Para su almacenamiento en condiciones ideales, deberá tener una humedad inferior al 4%, estará protegida de la luz, envasada en atmósfera de nitrógeno o bajo vacío y a una temperatura inferior a 10°C.

La leche en polvo constituye un alimento ideal para su transporte a largas distancias, debido a sus cualidades y al poco volumen que ocupa, si se la compara con la leche líquida. Por ello, es lo que suele enviarse a las zonas que requieren ayuda humanitaria. Asimismo, se usa mucho para preparar las leches infantiles y para elaborar un sinnúmero de productos alimenticios, debido a su riqueza proteica.

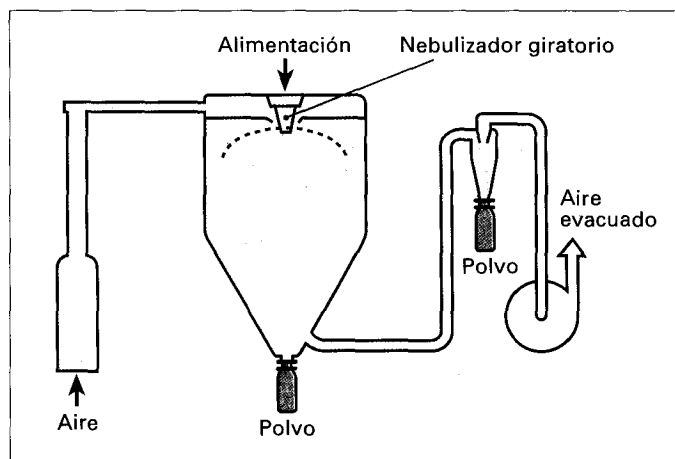


Figura 12.3. Diagrama de un desecador por nebulización para la leche.

12.2. Alteraciones en la composición química de la leche

La composición química de la leche se altera adulterando su medio físico-químico con fines fraudulentos; su práctica debe ser implacablemente perseguida por las autoridades competentes. Aunque en los países desarrollados los controles a los que se somete la leche

son bastante exhaustivos, en los menos favorecidos este fraude es habitual, pudiendo ser origen de graves problemas de salud pública. Por lo común, las características nutricionales de la leche se ven seriamente deterioradas, con el riesgo que esto supone para el consumidor, especialmente si es un niño o un anciano. En estos aspectos es fundamental una adecuada legislación que imponga fuertes sanciones a quienes la incumplan. Son necesarias la inspección continua de empresas e instalaciones y una correcta toma de muestras para combatir este problema. A continuación nos ocuparemos de las adulteraciones o falsificaciones más frecuentes.

12.2.1. Aguado

Lo más usual es el aguado de la leche. Lógicamente, al añadir agua, la cantidad de leche aumenta y, en consecuencia, también aumentan los beneficios. Su valor nutritivo desciende y la posibilidad de contaminación, incluso, por gérmenes patógenos, se incrementa bastante. La adición de agua ocasiona un descenso en la densidad y aproxima el punto de congelación a 0°C, de manera que estas variables se pueden utilizar para detectar los fraudes. No obstante, el parámetro más usado es la **constante molecular simplificada** (CMS) que se calcula a partir de las cantidades de lactosa y de cloruros; ésta es su fórmula:

$$\text{CMS} = L + 11,9 C$$

L es la concentración de lactosa y C la de cloruros en gramos por litro de leche desnatada. Para la leche entera, la fórmula adaptada es:

$$\text{CMS} = \frac{1.000 (L + 11,9 C)}{1.000 - \frac{G}{0,92}}$$

donde G es el contenido en grasa en gramos por litro de leche no desnatada. En la leche no adulterada, CMS es siempre igual o superior a 70. Si, en lugar de agua, se añaden soluciones salinas o suero lácteo, es mucho más dificultoso el descubrimiento de los fraudes.

12.2.2. Desnatado parcial o adición de leche desnatada

Este fraude es muy difícil de detectar cuando se analiza sólo una leche, por las posibles diferencias en el contenido graso. La tarea se ve facilitada cuando se comparan varias leches procedentes de la misma región, ya que una diferencia de más de 4 o 5 gramos en el contenido graso puede denotar un proceso de desnatado. El porcentaje de desnatado se calcula con esta fórmula:

$$\text{Desnatado (\%)} = \frac{G' - G}{G' \times 100}$$

En ella G , es el contenido en grasa de la leche sospechosa y G' , el contenido medio en grasa de la leche de la región.

12.2.3. Combinación de aguado y desnatado parcial

El fraude consiste en diluir y desnatar parcialmente la leche, se descubre mediante la determinación de la CMS, el extracto seco y la grasa.

12.2.4. Adición de conservantes químicos

Los conservantes químicos se utilizan para disimular algunas alteraciones de la leche. Así, con el fin de neutralizar la acidez, se añaden carbonatos y bicarbonatos alcalinos, que permiten el desarrollo de algunos gérmenes. Por otro lado, también se usan antisépticos, como el agua oxigenada, el formol, el ácido salicílico e hipocloritos alcalinos. Algunas de estas sustancias pueden ocasionar serios problemas de salud.

12.2.5. Adición de leche de otras especies

No se suele añadir leche de oveja ni de cabra a la de vaca porque son más caras, pero sí se hace lo contrario. En cuanto a la leche de cabra, se ha propuesto un método para descubrir un fraude que consiste en detectar β -caroteno, que no existe en la leche de cabra, pero si está presente en la de vaca.

No obstante, esta prueba no es útil cuando la leche añadida es desnatada. Actualmente se utiliza un método que se basa en la diferente movilidad electroforética de las caseínas α , de las leches de vaca, oveja y cabra.

12.3. Determinaciones analíticas de control en la leche

Los métodos analíticos generales de control físico-químico para los tipos de leche que se han utilizado anteriormente, difieren sólo en algunos parámetros específicos que resultan interesantes de determinar por las características concretas del producto.

Así, nos referiremos a las técnicas que se aplican a la leche líquida, cualquiera que sea su composición nutricional; después, se indicarán las pruebas para otras formas de presentación de la leche.

12.3.1. Leche líquida

Las pruebas fundamentales para la leche líquida, además del examen organoléptico, son las que siguen.

Cuadro 12.2. Características de la leche en diferentes especies. (Fuente: CAE.)

Especie	Cantidades mínimas (% en peso)					Acidez expresada en ácido láctico* (máximo)	Impurezas microscópicas** (máximo)	*** Prueba de la reducción microbiana
	Materia grasa	Lactosa	Proteínas	Cenizas	Extracto seco magro			
Vaca	3	4,2	3,2	0,65	8,2	0,2	1	>2 h
Oveja	7	4,6	4,7	1	10,3	0,3	1	>2 h
Cabra	3,3	4	3,8	-	8,4	0,2	1	>2 h
Burra	1,5	6,4	2,1	0,3	8,8	0,2	1	>2 h
Camella	5	3,3	3	0,6	6,9	0,2	1	>2 h

* Por 100 ml de leche. ** Expresadas en grados de la escala de impurezas. *** Realizada con azul de metileno.

❑ **Peso específico**

Sólo tiene sentido hacer esta prueba en esta forma de presentación de la leche. En ella, se utiliza el lactodensímetro mediante lectura directa. Si la leche es muy fresca, se debe precalentar a 40°C y, después, enfriar a 20°C; este paso es necesario, pues la densidad varía durante las primeras horas; las leches menos frescas no precisan esta preparación.

❑ **Acidez**

La prueba de la acidez se realiza mediante titulación de la cantidad suficiente de muestra con hidróxido sódico 0,25N, utilizando como indicador la fenolftaleína. El grado de acidez equivale a los mililitros de sosa 0,25N necesarios para neutralizar la acidez de 100 centímetros cúbicos de leche. Su expresión, como peso de ácido láctico por 100 centímetros cúbicos de leche, viene definida por esta relación:

$$1 \text{ cc de NaOH } 0,25\text{N} \rightarrow 0,0225 \text{ g de ácido láctico}$$

❑ **Extracto seco**

Se puede hacer una determinación indirecta, conocida la densidad de la leche y la cantidad de grasa, mediante la siguiente relación:

$$Ext = 1,2 f + 2,665 \frac{100 d - 100}{d}$$

En ella, *Ext* es el extracto seco total; *f*, los gramos de grasa; *d*, la densidad de la leche. La determinación directa se realiza desecando la muestra hasta peso constante. Se ha de añadir a la muestra dos gotas de solución etanólica de ácido acético al 10%.

❑ **Cenizas**

En esta prueba se utiliza el procedimiento general de incineración de la muestra en horno.

❑ **Grasa**

Se puede proceder extrayendo con éter, desecando el disolvente y pesando el extracto obtenido. También existe un método volumétrico de rutina, el método Gerber, que se basa en la precipitación de la proteína mediante ácido sulfúrico y en la separación por centrifugado de la grasa en un butirómetro específico, de Gerber, que permite la lectura directa en la escala prevista al efecto.

❑ **Proteína**

La prueba de la proteína se hace determinando el nitrógeno en la muestra por el método de Kjeldahl; luego, se multiplica por 6,38, que es el factor correspondiente a la proteína de la leche.

❑ **Lactosa**

Se puede utilizar la reacción general de Fehling y aplicar a la titulación obtenida el factor correspondiente a la lactosa; también es posible recurrir a la reacción de la cloramina-T.

12.3.2. Leche evaporada

Para la leche evaporada se aplican las mismas determinaciones e idénticos procedimientos a los indicados en la leche líquida.

12.3.3. Leche condensada

En el caso de la leche condensada interesa determinar, además de los parámetros generales indicados para la leche líquida, el contenido en sacarosa. Una vez preparada la muestra mediante hidrólisis con clorhídrico en caliente, la sacarosa se puede determinar mediante la rotación óptica de una muestra clarificada o a través del método del azúcar reductor, con corrección con su correspondiente factor, igual que se ha indicado para la lactosa, tras neutralización de la muestra usada.

12.3.4. Leche en polvo

En la leche en polvo, además de los parámetros generales señalados en el caso de la leche líquida, se ha de determinar la alcalinidad de las cenizas, la humedad y la solubilidad.

☐ Alcalinidad de cenizas

La ceniza obtenida se disuelve, en caliente, en ácido clorhídrico 0,1M y se titula con hidróxido sódico a igual concentración. La diferencia de volúmenes entre ambos compuestos es la debida a la alcalinidad de la ceniza, y se expresa en gramos de carbonato potásico según esta relación: 1 ml de ácido clorhídrico 0,1M = 0,00691 g de carbonato potásico.

☐ Humedad

Se utiliza el método de la desecación hasta peso constante, calculando el contenido en humedad a partir de la pérdida de peso de la muestra.

☐ Solubilidad

La solubilidad se puede valorar determinando la proporción de sustancia disuelta a partir de una muestra dada; se obtiene el residuo de la solución una vez desecado a peso constante. El método recomendado por el American Dry Milk Institute (ADMI) determina la solubilidad de la muestra a partir del sedimento restante tras macerar una muestra en agua caliente y su posterior centrifugación; el resultado se expresa como índice de solubilidad. Los métodos de que se dispone son esencialmente empíricos, por lo que, para llegar a resultados comparables, hay que seguir el mismo procedimiento en todas las muestras.

12.3.5. Determinación de conservantes en la leche líquida

La determinación rápida de conservadores en la leche puede ser cualitativa, siendo bastante, simplemente, la demostración de su presencia. Los más habituales son los que explicamos a continuación.

☐ Investigación de carbonato y bicarbonato sódicos

Cabe recurrir a varios procedimientos, como la solución alcohólica del ácido rosólico que, si es positiva, da un color rosado, mientras que si es negativa permanece amarilla. La reacción con alizarina proporciona los mismos resultados. La reacción con fenolftaleína en caliente produce un color rosado, que desaparece en frío al añadir ácido acético y vuelve a aparecer al calentar.

☐ Investigación de agua oxigenada

Se utiliza como reactivo óxido de vanadio en medio ácido y da una coloración rosada, que pasa al rojo si la reacción es positiva.

☐ Investigación de ácido bórico

Se usa una muestra acidulada con clorhídrico y papel indicador de cúrcuma, que da color rojo si la reacción es positiva.

☐ Investigación de ácido salicílico

Se emplea un extracto etéreo del filtrado de la muestra tras coagulación con clorhídrico. Una vez evaporado, se añade al extracto cloruro férrico al 0,5%; aparecerá color violeta si la reacción es positiva.

☐ Investigación de formol

Se puede emplear el método Gerber para la grasa; la mezcla de reactivos y leche en el butirómetro adquiere un color violeta si existe formol.

12.3.6. Ensayos de comprobación de tratamiento térmico adecuado

☐ Ensayo de fosfatasa en leche pasteurizada

La técnica se basa en la idea de que, si la pasteurización ha sido correcta, las fosfatasas se habrán destruido con el calor. Si la leche se incuba con p-nitrofenil fosfato sódico en medio alcalino, y los enzimas presentes en ella descomponen el sustrato, se libera p-nitrofenol de color amarillo. La reacción se realiza frente a un blanco de leche hervida.

☐ Ensayo de turbidez en leche esterilizada

En este ensayo se trata la muestra con sulfato amónico y se obtiene un filtrado; si, al calentarlo, aparece turbidez, existe albúmina no desnaturalizada por un tratamiento térmico defectuoso; si la leche está bien esterilizada, no habrá turbidez. La leche UHT produce una turbidez leve y la cruda y la pasteurizada dan un precipitado blanco.

12.4. Otros derivados lácteos

Además de los tres tipos de derivados lácteos comentados en la unidad de trabajo anterior, a partir de la leche se pueden obtener otros, ya sean de elaboración tradicional o subproductos de diversas transformaciones tecnológicas.

12.4.1. Cuajada

La cuajada resulta de coagular la leche mediante el calor y el cuajo; así se obtiene una masa de cierta consistencia y elevado valor proteico, dada su riqueza en caseína. La cuajada también es rica en calcio y sus niveles de grasa y colesterol suelen ser inferiores a los de la leche de partida.

Durante su elaboración, el coágulo puede retener en su estructura parte del suero que no será eliminado del producto final, como es el caso de los quesos; por eso la consistencia del producto es más blanda que la pasta con la que se produce el queso. Los nutrientes que se pierden son los solubles que quedan en el suero que no fue retenido por el coágulo.

12.4.2. Requesón

El requesón se obtiene precipitando por el calor, en medio ácido, las proteínas que existen en el suero del queso para formar una masa blanda. Sus características, en muchos aspectos, son similares a las de los quesos blandos, aunque destaca su riqueza en proteínas séricas o solubles de alto valor biológico.

12.4.3. Sueros lácteos

Los sueros lácteos o sueros de lechería son los líquidos formados por parte de los componentes de la leche que resultan de diversos procesos de elaboración de productos lácteos; tales procesos son éstos:

- **Suero del queso.** Es el lactosuero o líquido residual que procede de la elaboración del queso y que, como ya se ha comentado, no se suele aprovechar.
- **Suero de mantequilla o mazada.** Resulta al batir la nata para formar la mantequilla.
- **Suero en polvo.** Tras someter el suero del queso a técnicas de desecación, se consigue un producto pulverulento que se puede emplear con diversos fines.

Todos estos productos resultan interesantes por su concentración en proteínas y en lactosa, pero presentan algún inconveniente: excesiva salinidad, baja composición con proporción de proteínas/glúcidos y gran labilidad, por ser un excelente medio de cultivo.

Recientemente, ha sido posible recuperar fracciones proteicas sin desnaturalizar y lactosa mediante diferentes procedimientos, como filtración sobre geles, ultrafiltración, ósmosis inversa y precipitación por electrolitos.

Aunque hasta ahora, los sueros se han venido usando en piensos animales, se van introduciendo en la alimentación humana para mejorar productos de panadería y bollería, pastas alimenticias, otros derivados lácteos, etcétera. También se empieza a obtener lactosa por cristalización, producto que resulta muy interesante, pues es un buen fijador de aromas que endulza poco; se emplea para confeccionar helados, postres, en confitería... Igualmente, las técnicas de cultivo de levaduras sobre lactosuero resultan prometedoras, pues permiten obtener un producto rico en proteínas destinado a la alimentación animal.

12.4.4. Caseína y caseínatos

Se trata de la materia proteica separada de las demás proteínas de la leche desnatada por procedimientos tecnológicos autorizados. Hasta hace pocos años, únicamente se destinaba a la alimentación de animales o para fabricar materiales varios, como colas y textiles. Hoy en día, sus propiedades funcionales permiten su empleo en alimentación humana para enriquecer pastas, productos de repostería, de charcutería, etc.

Para su obtención se pueden utilizar tres procedimientos, que dan origen a otros tantos productos:

- Caseína ácida, que resulta de la acidificación con ácido clorhídrico hasta un pH de 4,6.
- Caseína cuajada, obtenida por efecto del cuajo.
- Caseína láctica, resultante de la fermentación láctica.

Posteriormente, la caseína se lava para quitar las sales minerales, la lactosa y el exceso de ácido. Por último, se tritura o se introduce en sosa y, más tarde, se deshidrata. El producto final se presenta como polvo blanco, sin puntos negros, insípido y con olor débil, no desagradable.

12.4.5. Postres lácteos

Los postres lácteos son formas cremosas o gelificadas de leche no ácida. La consistencia se incrementa mediante diferentes procedimientos, como la coagulación por cuajo o, más frecuentemente, la adición de gelificantes, como almidones modificados, carragenatos, agarosa o gelatinas. Para la confección final del producto se pueden añadir colorantes, aromatizantes, edulcorantes, derivados lácteos para enriquecer el producto, frutas, etc.

Su período de conservación depende de la técnica de higienización utilizada; sus características nutricionales serán las que corresponden a la leche de partida empleada, más las derivadas de los componentes añadidos.

12.4.6. Helados

Según el CAE, los helados resultan de batir y congelar una mezcla debidamente homogeneizada y pasteurizada de leche, derivados de leche y otros productos alimenticios. Desde el punto de vista de su composición nutricional, hay tres grandes grupos:

- Helados que tienen como base la grasa láctea, la leche entera o desnatada o el huevo; en este grupo se encuentran el mantecado, el helado de nata y el helado de crema o de leche, entre otros.
- Helados que tienen como base el agua. Aquí están los polos, los sorbetes y los semisólidos granizados.
- Postres helados; se trata de un amplio conjunto de productos: tartas, pasteles, helados especiales, etc.

El valor nutricional de cada producto estará directamente relacionado, con sus componentes. El valor energético, en promedio, es de 200 a 250 kcal/100 g; evidentemente, en los helados cuya base es el agua, este valor disminuye mucho, ya que carecen de grasas.

La proteína de los helados proviene de la leche y de los derivados lácteos utilizados en su confección. Cuando se usan huevos, sólo se incorpora la yema, por lo que éste no es el origen principal de proteínas; asimismo, la adición de otros productos, como frutos secos, es minoritaria. Como promedio se puede hablar de unos 5 g de proteína por 100 g de producto. En los helados cuya base es el agua, el valor proteico es prácticamente nulo.

En cuanto a la grasa, los helados suelen tener cantidades superiores al 10% en peso; los tipos de grasa mayoritariamente utilizados son la manteca, como grasa animal, y los aceites de coco y palma hidrogenado. Sea cual sea, la grasa es fundamentalmente saturada. Puede haber otros lípidos, como las lecitinas u otros fosfolípidos, monoglicéridos y diglicéridos de ácidos grasos; todos ellos suelen tener una función emulgente y, por tanto, contribuyen poco al total de grasa. Evidentemente los helados con agua como base carecen de este nutriente.

Aproximadamente un 25% en peso corresponde a los glúcidos, siendo la sacarosa y la glucosa los mayoritarios; esta última se puede utilizar como tal o en forma de jarabes. No obstante, cada vez se generaliza más la confección de helados para diabéticos con edulcorantes artificiales y fructosa. La cantidad de vitaminas y de minerales presentes en un helado dependerá de la riqueza de éste o de sus derivados en leche y en huevo. Para todos los productos cuya base es la leche, el mineral predominante es el calcio; además, su absorción puede estar algo favorecida por la presencia de lactosa. Las vitaminas más significativas son la riboflavina y el retinol.

12.5. Determinaciones analíticas de control en derivados lácteos

Las determinaciones analíticas de interés en los diferentes derivados lácteos estarán en función de la composición fundamental de ese derivado. Por eso, si el producto está fundamentalmente compuesto por proteínas, interesará esta determinación; si en su composición intervienen azúcares, las determinaciones de azúcares reductores será lo que importe. Junto con estas determinaciones específicas del producto, se harán unas determinaciones generales, como cenizas, acidez, etc., que ya han sido comentadas en la leche y que no ofrecen ninguna peculiaridad respecto a las allí indicadas.

Los derivados lácteos que pueden presentar alguna peculiaridad en sus determinaciones analíticas son los quesos y los helados, que trataremos en este apartado.

12.5.1. Queso

Las pruebas fundamentales, además del examen organoléptico, son la acidez, las cenizas, la proteína y el nitrógeno y la grasa total. Todas ellas siguen las mismas técnicas señaladas para la leche. Son pruebas específicas las dos que siguen.

□ Determinaciones sobre ácidos grasos

- **Ácidos grasos libres:** con la muestra fundida y disuelta en etanol neutralizado caliente, se titula, utilizando hidróxido sódico 0,1M y fenolftaleína como indicador. Se calcula la cantidad de ácidos grasos libres, expresada en ácido oleico.
- **Índice de peróxidos:** con la muestra fundida y mezclada con una solución de ácido acético y cloroformo, se hace reaccionar con yoduro potásico en un medio de dióxido de carbono y se titula el yodo liberado con tiosulfato sódico 0,002M, usando como indicador una solución acuosa de almidón. Se expresan los resultados en mililitros de tiosulfato sódico por gramo de muestra.
- **Índice de yodo:** la muestra se mezcla con tetracloruro de carbono y se hace reaccionar con una solución de Wiji. Se añade yoduro potásico al 10% y se titula con tiosulfato sódico 0,1M, utilizando como indicador una solución de almidón reciente.
- **Índice de saponificación:** la muestra se mezcla con solución alcohólica de hidróxido potásico 0,5M y se deja a reflujo durante cuatro horas. La solución se titula en caliente frente a ácido clorhídrico 0,1M usando fenolftaleína como indicador.
- **Determinación de ácidos grasos volátiles:** se pueden utilizar los índices de Reichert, Polenske y Kirschner.

☐ Humedad

Se deseca la muestra a 70°C en vacío a una presión de 310 a 320 mm Hg, hasta peso constante. El contenido de humedad se calcula a partir de la pérdida de peso.

12.5.2. Helados

Las pruebas básicas, además del examen organoléptico, son la acidez, las cenizas, la humedad, la proteína y el nitrógeno, y los azúcares reductores, expresados en lactosa y sacarosa. Todas ellas se realizan mediante las mismas técnicas mencionadas en anteriores apartados. Como pruebas específicas citaremos las tres que siguen.

☐ Grasa

Se realiza una extracción mediante la técnica de Soxhlet, utilizando cloroformo. El contenido en grasa se calcula a partir del peso del residuo.

☐ Contenido en huevo

Se hace una extracción a reflujo con metanol puro mediante Soxhlet y se evapora a sequedad. Se determina el fósforo en el residuo y se aplican las siguientes relaciones:

Componentes sólidos de la yema de huevo = $P_2O_5 \times 56$

Huevo en polvo = Componentes sólidos de la yema de huevo $\times 1,48$

☐ Identificación de gomas

La muestra se diluye en caliente, en primer lugar, con agua destilada; luego, en ácido acético al 10%, y se filtra. El filtrado se diluye en etanol al 95% y se añade solución etanólica de hidróxido potásico al 5%, se centrifuga y deseca. El residuo de goma obtenido se somete a ensayo según el Cuadro 12.3.

Cuadro 12.3.

Solución de ensayo	Goma arábica	Goma tragacanto	Agar	Locust bean
Acetato básico de plomo diluido	Precipitado blanco	Precipitado voluminoso	Precipitado voluminoso	Precipitado voluminoso
Solución de sulfito de cobre. Añadir hidróxido sódico	Precipitado azul, capa líquida incolora			
Solución de Nessler al 35%	Precipita al alcanzar el punto de ebullición			
Ácido sulfúrico concentrado	No cambia	Precipita al calentar	La solución se clarifica	Precipita
Cloruro férrico al 5%	Precipitado soluble	Gelatiniza	Gelatiniza	Precipita
Hidróxido potásico al 10%	Solución débilmente amarilla	Precipitado amarillo	La solución se clarifica	Ligero precipitado

ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE

- 1 Siguiendo, dentro de lo posible, la normativa vigente, organización de uno o varios paneles de cata, haciendo pruebas de técnica descriptiva sobre diversas pruebas de leche de vaca, y de otras especies de consumo, sometidas a diferentes técnicas de higienización.
- 2 Confección de cuadros-resumen que recojan las principales características nutricionales de cada uno de los productos analizados en la unidad.
- 3 Realización de un ensayo comparativo de adulteración por aguado o de uso de conservantes de la leche sirviéndose de una leche comercial y de una muestra manipulada de la misma.
- 4 Ejecución de un ensayo de comprobación del tratamiento térmico adecuado de una muestra de leche.
- 5 Realización de un ensayo identificador de gomas espesantes presentes en una muestra de helado.
- 6 Elaboración de un protocolo de análisis físico-químico rápido para la leche o para un derivado lácteo y desarrollo sobre una muestra del producto elegido.
- 7 Visita a una industria láctea y confección de un informe sobre la metodología de trabajo, procesos a que se someten los productos, técnicas de higienización, análisis rutinarios, aparatos utilizados, etc.



ALTERACIONES EN LA OBTENCIÓN, MANIPULACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS LÁCTEOS

1. Origen y obtención de la leche. 2. Microflora de la leche. 3. Alteraciones de la leche durante el faenado y la manipulación. 4. Alteraciones de la leche durante la distribución y el almacenamiento. 5. Control microbiológico de la leche. 6. Microbiología de los derivados lácteos no fermentados. 7. Alteraciones en los derivados lácteos. 8. Control microbiológico de los derivados lácteos.

13.1. Origen y obtención de la leche

Como hemos hecho en unidades anteriores, en esta unidad de trabajo describiremos la producción y obtención de la leche refiriéndonos a la leche de vaca, por ser la de fisiología mejor estudiada y la de mayor consumo.

13.1.1. Fisiología de la producción de la leche

La ubre o mama bovina está constituida por glándulas, cuartos o cuarterones, que son estructuras independientes, de modo que se puede perder la producción de la leche en uno de ellos y seguir en los demás. Cada cuarterón mamario contiene tejido secretor, que se organiza en alveolos, formando racimos, y lóbulos, que se unen por un conducto o canal galactóforo y que desemboca en la cisterna de la glándula mamaria o seno galactóforo de, aproximadamente, 300 a 400 ml de capacidad. A su vez esta cisterna desemboca en otra, llamada cisterna del pezón, la cual se abre al exterior por un canal ocluido por un esfínter. Este conjunto de tejido secretor está inmerso en una estructura de tejido conjuntivo fuertemente irrigado e innervado.

Cada alveolo es un microórgano más o menos esférico con un espacio central de almacenamiento, el lumen, que está rodeado por una capa simple de células epiteliales secretoras y que comunica por un conducto con el sistema general de canales galactóforos.

El extremo apical de las células epiteliales secretoras se sitúa junto al lumen; como consecuencia, a través de la célula se produce un flujo direccional de metabolitos y los precursores de los componentes de la leche entran desde la sangre por la membrana basal; una vaca lechera debe filtrar unos cuatrocientos litros de plasma para producir un litro de leche.

Estos componentes básicos son sintetizados en el retículo endoplásmico de la célula y empaquetados en vesículas secretoras por el aparato de Golgi o en forma de gotitas lipídicas incluidas en el citoplasma. Finalmente, las vesículas y las gotitas pasan a través de la membrana apical y se almacenan en el lumen. La capa de células epiteliales secretoras que rodean al lumen está rodeada a su vez por una capa de células mioepiteliales y capilares sanguíneos.

La secreción láctea se inicia como consecuencia del parto del animal; por tanto, es necesario que la progesterona y la foliculina disminuyan para que el mecanismo hormonal de la hipofisis comience a secretar pro-

lactina y otras hormonas implicadas en la secreción láctea. Las hormonas con actividad lactógena comprobada son la prolactina, la hormona del crecimiento y la hormona placentaria lactógena.

El mantenimiento de la producción láctea está asegurado siempre que se mantengan los niveles de prolactina. Sin embargo, el vaciado de la cisterna del pezón y de los conductores grasos sólo proporciona de un 30% a un 40% de la leche producida. Debe haber secreción de oxitocina para producir la eyección del 60% al 70% restante. La secreción de esta hormona depende de que existan estímulos favorables –masaje de la mama o la succión del ternero– y la ausencia de estímulos inhibitorios –estrés, dolor, etc.–. La oxitocina tarda unos cuarenta segundos en llegar al tejido de la ubre y su acción dura de cinco a seis minutos.

Cuando la oxitocina se une a las células mioepiteliales, el alveolo se contrae, y expelle la leche almacenada en el lumen hacia los conductos. Igualmente, esta hormona induce la contracción de los conductos galactóforos y de los propios canales excretores unidos a los alveolos, favoreciendo la salida de la leche.

En cuanto a las razas utilizadas para producción, en la actualidad, la raza considerada como la mayor productora es la raza Frisona, o su evolución, la raza Holstein. Su difusión es máxima en todo el mundo. Las características que han hecho que la producción láctea se base en esta raza son las siguientes:

- Alto rendimiento, factor que es heredable; en España se llega hasta 6.000 litros por lactación.
- Producción regular a lo largo de la lactación.
- Disposición de pezones que facilita colocar pezoneras automáticas.

Otras razas productoras son Guernsey, Jersey, Ayrshire, Parda Suiza y Shorton.

13.1.2. Ordeño

Para garantizar la salubridad de la leche, su recogida debe realizarse en óptimas condiciones. Así, el ordeño debe ser:

- Rápido, para que no se inactive la oxitocina.
- Completo, con la finalidad de expulsar toda la grasa y evitar retención de leche y de mamitis.
- Indoloro; así no hay retenciones de leche.
- Con las mejores condiciones de salubridad, referidas tanto al animal como a los útiles de recogida.

Actualmente, el ordeño que se practica mayoritariamente es el automático. En él se simula la succión y el masaje que el ternero realiza en la ubre para obtener

la leche. Para extraer la leche es necesario limpiar y secar los pezones del animal antes de colocar las pezoneras.

Estos métodos automáticos están dotados de múltiples sistemas que facilitan la labor del ordeñador, como los sistemas de desconexión automática de pezoneras cuando ha finalizado la extracción y el control de vacío y de succión para la extracción, ya que la glándula mamaria se encuentra especialmente desarrollada en estas especies productoras y es muy sensible a los números de pulsaciones (de 50 a 60 por minuto) o a la presión a la que se extrae.

Todas las operaciones de recogida de la leche se deben realizar en un espacio destinado específicamente a este fin: la sala de ordeño. Será un lugar limpio y fácil de desinfectar para reducir, en la medida de lo posible, la carga microbiológica de la leche.

La leche, una vez que llega a la pezonera por succión, se desplaza hasta el colector, donde se encuentra con la proveniente de los tres cuarterones restantes y de ahí también por medio de la succión, circula por una cañería de diferentes materiales y llega al tanque de almacenamiento refrigerado (su temperatura es de 3°C a 4°C). En él permanece hasta que la recoge un camión cisterna, también refrigerado, para su traslado a la central lechera. El hecho de mantener la leche a temperatura de refrigeración determina su calidad microbiológica.

13.2. Microflora de la leche

La leche, aunque proceda de vacas sanas y se haya obtenido en las mejores condiciones higiénicas, siempre está contaminada en mayor o menor grado. Así, se considera que en un ordeño completo hay una tasa mínima de 100 a 500 gérmenes por mililitro. Las primeras fracciones extraídas suelen ser las más contaminadas, porque son las que están más próximas al pezón y por realizar un efecto de lavado de los conductos; de este modo, pueden tener más de 1.000 gérmenes por mililitro, mientras que las últimas fracciones pueden resultar, incluso estériles.

Normalmente, se trata de gérmenes saprofitos del pezón y de los canales galactóforos, como micrococos, estreptococos lácticos y lactobacilos. En caso de enfermedad del animal, se pueden presentar otros microorganismos patógenos y peligrosos desde el punto de vista sanitario, por ejemplo, los agentes de las mamitis. Los procedentes del pezón, aunque no representan riesgo, se pueden desarrollar bastante en la leche.

Las mamitis se deben a infecciones por *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Escherichia coli*, *Corynebacterium bovis*, *Corynebacterium pyogenes*, *Mycoplasma* o *Nocardia asteroides*.

Por otra parte, entre los microorganismos patógenos para el ser humano se encuentran *Mycobacterium bovis*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Brucella abortus*, *Brucella melitensis*, *Brucella suis*, *Streptococcus agalactiae*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Leptospira*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Pasteurella multocida*, *Clostridium perfringens*, *Coxiella burnettii*, *Campylobacter* y *Yersinia*.

Durante el ordeño, el almacenamiento y el transporte, la leche se puede contaminar con una gran variedad de microorganismos; por eso, la naturaleza de la flora microbiana de la leche cruda es muy compleja y cambiante de una muestra a otra y según su grado de frescura. Las principales fuentes de contaminación son:

- Heces y tegumentos del animal: coliformes, *Bacillus*, *Clostridium* y *Salmonella*.
- Suelo: bacterias esporuladas, hongos y *Streptomyces*.
- Camas y alimentos de animales: lactobacilos y *Clostridium butyricum*.
- Aire y agua: flora muy diversa.
- Equipos de ordeño y de almacenamiento de la leche: flora láctica, micrococos, lactobacilos, *Chromobacterium*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter* y levaduras.
- Manipuladores: estafilococos de la piel, gérmenes nasofaríngeos procedentes de expectoración y gérmenes de origen fecal.
- Vectores diversos, especialmente, insectos.

De todos estos microorganismos, unos son inofensivos; otros, peligrosos desde el punto de vista sanitario; otros, capaces de inducir alteraciones de la leche.

13.2.1. Bacterias

□ Bacilos y cocos aerobios

Las especies más importantes de bacilos y cocos aerobios son *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putrida*, *Pseudomonas maltophilia*, *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas alcaligenes* y *Alteromonas putrefaciens*. También pueden aparecer algunas especies de *Alcaligenes*, *Flavobacterium* y *Brucella*.

□ Bacilos anaerobios facultativos

Entre las enterobacteriáceas mencionaremos éstos: *Escherichia*, *Edwardsiella*, *Erwinia*, *Citrobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Klesiella*, *Enterobacter*, *Hafnia*, *Morganella*, *Proteus*, *Providencia*, *Serratia* y *Yersinia*. Y entre las

vibrionáceas: *Vibrio*, *Aeromonas*, *Plesiomonas* y *Photobacterium*.

□ Cocos y cocobacilos aerobios

En este grupo están *Nesisseria*, *Branhamella*, *Moraxella* y *Acinetobacter*. Estos dos últimos en la leche de forma eventual.

□ Cocos G+

Aquí hemos de citar a *Staphylococcus*, cocos catalasa + anaerobios facultativos y a *Streptococcaceae*, cocos catalasa -, de los que podemos encontrar homofermentativos (*Streptococcus*, *Pediococcus* y *Aerococcus*) y heterofermentativos (*Leuconostoc*). El género *Streptococcus* es el más importante y abarca numerosas especies, por ejemplo *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus equi*, *Streptococcus dysgalactiae* y sobre todo *Streptococcus lactis* y *Streptococcus thermophilus*.

□ Bacilos esporulados G+

Estos bacilos son muy diversos (Cuadro 13.1).

Cuadro 13.1. Bacilos esporógenos G+ presentes en la leche.

Géneros	Catalasa	Respiración	Movilidad
<i>Artthrobacter</i>	+	A	±
<i>Brevibacterium</i>	+	A	-
<i>Lactobacillus</i>	-	An	-
<i>Microbacterium</i>	+	A.An	±
<i>Brochothrix</i>	+	An	-
<i>Listeria</i>	+	An	+
<i>Kurthia</i>	+	A	+

A = Aerobio estricto
An = Anaerobios facultativos o microaerófilos

De todos ellos, el grupo más importante es el de los *Lactobacillus*. Tienen forma de bastón derecho o curvo, son individuales o se agrupan en cadenas, son muy sacarolíticos y pueden liberar ácido láctico. Se distinguen varios grupos:

- **Grupo I: *Thermobacterium*.** Son homofermentativos, crecen a 45°C, y no fermentan la pentosa ni el glucano. Existen dos grupos de especies: *Lactobacillus delbrueckii* y *Lactobacillus acidophilus*.
- **Grupo II: *Streptobacterium*.** Son homofermentativos facultativos y fermentan las pentosas a ácido acético y láctico. Se trata de *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus sake*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus bavaricus* y *Lactobacillus carnis*.

- **Grupo III: *Betabacterium*.** Son heterofermentativos y fermentan pentosas; *Lactobacillus bifementans* fermentan el lactato. Forman parte del grupo *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus kefir* y *Lactobacillus buchnerii*.

□ **Bacilos esporulados: *Bacillus* y *Clostridium***

Las bacterias del género *Bacillus* son habituales del suelo y los productos lácteos se contaminan con estos microorganismos a través del aire, el agua y los alimentos del ganado. *Bacillus cereus* es un germen importante del grupo que puede resistir tratamientos UHT. Sintetiza proteasas extracelulares y una fosfolipasa C que puede originar coagulación no ácida en la leche.

Otros gérmenes del grupo también pueden producir modificaciones en la leche, especialmente, coagulaciones: *Bacillus subtilis* ocasiona coagulación no ácida de la leche con aumento de la viscosidad; *Bacillus stearothermophilus* puede alterar leches concentradas esterilizadas; *Bacillus coagulans* se relaciona con la coagulación de leches esterilizadas envasadas.

En cuanto al género *Clostridium*, se ha de indicar que se encuentra en sedimentos del suelo y en el tracto intestinal; la leche se contamina a través de restos de heces, del suelo, de alimentos ensilados, etc. *Clostridium thermosaccharolyticum* fermenta la lactosa y coagula la leche. *Clostridium tyrobutyricum* y *Clostridium butyricum* están implicados en el hinchamiento de quesos y *Clostridium sporogenes* produce fermentaciones butíricas con digestión del coágulo por proteólisis.

13.2.2. Levaduras y mohos

Las levaduras fundamentales que se pueden encontrar en la leche son *Debaryomyces hansenii*, *Kluyveromyces lactis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Yarrowia lipolytica*, *Candida kefir* y *Torulopsis lactis-candensi*. Y los mohos más frecuentes son *Geotrichum candidum*, *Scofulariopsis brevicaulis*, *Sporendonema sebi*, *Penicillium casei*, *Penicillium roqueforti*, *Penicillium camemberti*, *Rhizopus stolonifer* y *Mucor*.

Si los animales han sido alimentados con piensos o forrajes contaminados por *Aspergillus flavus*, es posible que aparezcan aflatoxinas de la leche. Las tolerancias actuales son de 0,01 mg por litro en las leches destinadas a alimentación infantil y de 0,1 a 0,5 mg para el resto.

13.3. Alteraciones de la leche durante el faenado y la manipulación

El faenado y la manipulación son las fases más favorables para una posible alteración de la leche. Será abso-

lutamente imprescindible llevar un riguroso control higiénico-veterinario de las explotaciones ganaderas, de las cuadras y establos, de las técnicas de crianza y del cuidado y saneamiento de los animales, de modo que, en numerosas ocasiones, habrá que proceder al sacrificio de los que padezcan determinadas enfermedades.

13.3.1. Alteración de las características organolépticas

El olor de la leche queda fácilmente afectado si en las cercanías existen olores fuertes. Así, la grasa láctea los capta y encontramos leche con un marcado olor a abono natural, a piensos, a alquitrán, a esencias, etc. El sabor puede modificarse en función de los recipientes en que se recoja la leche, de modo que puede adquirir gustos metálicos amargos y desagradables. El propio forraje con que se alimenta al ganado puede dar un sabor característico cuando se administra a los animales poco antes del ordeño.

Por otra parte, el sabor puede cambiar si se alteran algunos compuestos químicos habituales en la leche. Así, por la oxidación de la grasa se generan sustancias, sobre todo **cetonas**, que causan un gusto oleoso, a sebo y a metálico, y la liberación de **metional** da cierto sabor a papel o cartón. La combinación de ambos provoca el **sabor oxidado**, que se frena con la presencia de ácido ascórbico, carotenos y tocoferol.

También hay que recordar que la actuación de la lipasa que está presente en la propia leche da lugar al **sabor rancio**. La actuación de este enzima es máxima a 37°C y queda inactiva cuando se calienta a 63°C durante ocho minutos o a 79°C durante un segundo. Es fotosensible, aunque se encuentra parcialmente protegida de la luz por los glóbulos grasos, y se inactiva por la existencia de cobre, cloruro sódico o cloruro magnésico.

Uno de los efectos más indeseables del calentamiento de la leche es el **aroma a cocido**, debido a la liberación de sulfato de hidrógeno (SH₂) volátil a partir de la cisteína presente en las moléculas de β-lactoglobulina. Este aroma aparece con temperaturas de pasteurización superiores a 76,6°C y provoca una **reacción del nitroprusiato** positiva, al reaccionar este compuesto con los grupos SH.

13.3.2. Presencia de sustancias extrañas

En la leche pueden aparecer sustancias extrañas que, generalmente, llegan a ellas de modo accidental. Tales sustancias pueden deberse a descuidos del personal, a materiales de las proximidades, a productos utilizados en la limpieza de las instalaciones, a compuestos químicos empleados con diversas finalidades... Es frecuen-

te que caigan a la leche pelos, restos de excrementos, pajas y materias varias que se deben eliminar para evitar contaminaciones y alteraciones organolépticas. Para ello, en la propia granja se filtra la leche, haciéndola pasar por un tamiz en el que estas partículas quedan retenidas. Sin embargo, los restos que van quedando en él pueden favorecer la contaminación microbiológica si las medidas de asepsia no son las adecuadas. Por esta razón, en algunos países se desaconseja esta práctica. Si se realiza, debe hacerse inmediatamente después del ordeño.

Las alteraciones más importantes que sufre la leche son las que analizamos en los siguientes epígrafes.

❑ Presencia de pesticidas

Los pesticidas órgano-clorados se han empleado durante décadas en las explotaciones agrícola-ganaderas. Al no ser biodegradables, pueden permanecer activos durante mucho tiempo y tienden a acumularse en los productos ricos en grasa. Se conocen sus efectos nocivos sobre el ser humano, en particular, los que se manifiestan a largo plazo: se ha descrito una importante afectación hepática y endocrina, y está por confirmar una posible asociación con el cáncer. Algunos de los pesticidas más conocidos son el DDT, el **hexaclorociclohexano**, el **hexaclorobenceno**, el **aldrín** y el **dieldrín**. Aunque su uso hace tiempo que está prohibido, aún es posible detectar residuos en la leche.

❑ Presencia de antibióticos

La penicilina es el antibiótico más utilizado para el tratamiento de las mastitis. El problema surge al constatar su presencia en la leche, de modo que puede llegar hasta el ser humano y provocar, especialmente en niños, resistencia a antibióticos que impiden su uso para combatir enfermedades. Además, la penicilina destruye la mayor parte de las bacterias lácticas, pero permite la supervivencia de algunos coliformes patógenos con el consiguiente riesgo que esto supone. La destrucción de los fermentos lácticos ocasiona trastornos en la coagulación de la leche que pueden afectar a la elaboración de queso o de otros productos. Para detectar la presencia de penicilina en la leche se emplean colorantes que reaccionan ante ella, como el verde ácido BS o el azul FCF. Otros antibióticos, menos utilizados, son la **estreptomina**, la **aureomicina** y la **terramicina**.

❑ Contaminación radiactiva

Las contaminaciones radiactivas que se han descrito suelen tener relación con accidentes nucleares o con pruebas atómicas que permiten la propagación de elementos radiactivos por la atmósfera. Con la lluvia, descienden a la tierra y pueden contaminar suelos, agua y

alimentos. Después de ingresar en el animal, pasan a la leche y, luego, al ser humano. El más peligroso parece ser el **estroncio-90**, que se fija al hueso y puede generar tumores óseos y sanguíneos. Otros elementos son el **cesio-137** y el **iodo-131**. De toda la radiactividad que los alimentos aportan al hombre, alrededor de la mitad proviene de los productos lácteos.

13.3.3. Alteraciones en la composición microbiológica

Ya se ha señalado que, aunque la leche se recoja en inmejorables condiciones y proceda de animales perfectamente saneados, después de su ordeño completo presenta como carga mínima entre 100 y 500 gérmenes por mililitro. Estos microorganismos, procedentes de la ubre del animal, encuentran en la leche un medio de cultivo excepcional, con lo que proliferan rápidamente si la leche se deja tal y como sale de la vaca.

En cuanto al material empleado durante la extracción de la leche, hay que indicar que se debe lavar después de su uso con un detergente alcalino y, después, con una solución ácida, enjuagando de nuevo para desinfectarlo finalmente mediante vapor, agua muy caliente o soluciones de hipoclorito.

La leche sale del animal a una temperatura de 35°C a 37°C. En la primera hora posterior al ordeño, la presencia de sustancias inhibitoras del crecimiento bacteriano, como la lactenina, la lactoperoxidasa y la lisozi- ma reduce la cifra de bacterias lácticas. Más tarde, si la temperatura es propicia, las bacterias comienzan a proliferar, ocasionando alteraciones físico-químicas en el producto. Dichas alteraciones, ya conocidas, consisten en la producción de ácido láctico a partir de la lactosa, con el consiguiente descenso del pH hasta valores de 4 a 4,5. El ácido láctico se combina con el calcio que hay en las moléculas de caseína y tiene lugar la coagulación láctea.

El aumento de acidez impide que actúen los fermentos lácteos y favorece el desarrollo de algunos mohos y bacterias acidófilas aerobias y anaerobias, que desencadenan un proceso de putrefacción de la leche caracterizado por:

- **Agriado y acidificación con coágulo.** Por debajo de 37°C, el germen que interviene es *Streptococcus lactis*, asociado o no con lactobacilos, enterococos y micrococos. Por encima de 37°C actúan *Streptococcus thermophilus*, *Streptococcus faecalis* y *Lactobacillus bulgaricus*. Si la leche es pasteurizada, el efecto lo llevan a cabo los gérmenes saprofitos termófilos o algunas bacterias esporuladas resistentes, como *Clostridium* o *Bacillus*.
- **Proteolisis.** Se acelera al almacenar la leche durante largo tiempo a baja temperatura. La pro-

teolisis se detecta por una ligera alcalinización, acompañada de modificación del olor. Los principales gérmenes implicados son del tipo *Micrococcus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Alcaligenes* y *Pseudomonas*.

- **Leche filante.** Se caracteriza por un aumento de la viscosidad y se debe a la acción de algunos *Micrococcus*, *Lactobacillus* y *Streptococcus*.
- **Coloraciones:**
 - Amarilla, por la acción de *Pseudomonas synxanta*, *Flavobacterium spp.* y *Xantomonas*.
 - Azulada, por *Pseudomonas syncyanea* y *aeruginosa*.
 - Roja, por *Serratia marcescens*, *Brevibacterium erythrogenes* y *Pseudomonas spp.*
 - Violeta, por *Chromobacterium violaceum*.
- **Modificaciones del olor o del gusto:**
 - Olor a piña, por *Pseudomonas fragi*, *Flavobacterium lactis* y *Bacillus estenificans*.
 - Olor a rancio, por gérmenes lipolíticos como *Pseudomonas* y *Bacillus Cereus*.
 - Olor a urea y a amoníaco, por *Pseudomonas fluorescens* y *Alcaligenes faecalis*.
 - Olor y sabor de pescado, por *Pseudomonas* y *Torulopsis amara*, que originan la formación de trimetilamina.
 - Olor y sabor a caseína, por *Micrococcus caseolyticus*.
 - Sabor amargo, por *Bacillus liquefaciens lactis amari*, *Micrococcus casei amari* y *Torulopsis amara*.
 - Sabor a caramelo, por *Streptococcus lactis maltigenes*.
 - Sabor a jabón, por *Bacillus lactis saponacei* y *Pseudomonas putrida*.

13.4. Alteraciones de la leche durante la distribución y el almacenamiento

En la actualidad, debido a las características de los medios de transporte, distribución, envasado y almacenamiento, las alteraciones en estos procesos son cada día más extrañas. La leche procedente de las granjas es recogida por grandes cisternas que la mantienen refrigerada hasta su llegada a las empresas lecheras, en las que se aplicarán los correspondientes procesos tecnoló-

gicos que la harán apta para el consumo. El moderno envasado por los sistemas Tetra-brick, Tetra Pak o Pure Pak permite una correcta conservación de los caracteres organolépticos, físico-químicos y microbiológicos, y asegura la calidad nutricional. No obstante, en ciertas fases o variedades de la leche existen serios riesgos de alteración.

En cuanto al transporte de la leche natural para su higienización o industrialización, es preciso recordar que se deben utilizar vehículos isotermos y cisternas de acero inoxidable o de cualquier otro material autorizado. Si la distancia es inferior a 200 kilómetros, la leche se puede transportar en otra clase de envases autorizados, de limpieza fácil. En el lugar de origen se procederá al precintado de la mercancía, que se abrirá, únicamente, en el lugar de destino para evitar contaminaciones y fraudes.

Nuestra legislación recoge, para todos los tipos de leche, independientemente de su naturaleza, una serie de prohibiciones:

- Cocerla en establecimiento para su venta al público.
- Neutralizarla o añadirle aditivos, salvo en los casos expresamente autorizados.
- Mezclar leches de distintas clases o diferentes especies cuando se vaya a destinar al consumo directo.
- Cualquier manipulación en la que se pretenda sustituir total o parcialmente la grasa natural de la leche por otras grasas extrañas.
- Reconstituirla para su venta cuando se destine al consumo directo.
- Someterla a más de un proceso de higienización o repartirlo cuando haya de ser destinada al consumo directo.
- Utilizar procedimientos manuales para el envasado o cierre de los recipientes.
- Vender leches en polvo a granel, no pudiendo fraccionarse el contenido de los envases ni aun en presencia del comprador.

13.4.1. Leches concentradas esterilizadas y concentradas con azúcar

Durante el almacenamiento, siempre en locales con una temperatura ambiente inferior a 15°C, la leche concentrada y, posteriormente, esterilizada, puede sufrir el proceso conocido como **gelificación** debido a la agregación de las micelas de caseína, que genera un aumento en la viscosidad.

Por defectos en el envasado, la leche concentrada azucarada puede contener gotitas de agua que actúan como medio eficaz de proliferación de gérmenes, ya que en las zonas donde se depositan dichas gotitas desaparece el efecto protector del azúcar. También es habitual que aparezca una textura arenosa, consecuencia de la cristalización de la sacarosa en forma de α -lactosa.

13.4.2. Leche en polvo

Uno de los fenómenos mejor apreciados en la leche en polvo –si bien también puede aparecer en otros tipos, como la leche concentrada esterilizada y la leche condensada– es el llamado **pardeamiento no enzimático** o **reacción de Maillard** cuyo mecanismo de producción no está perfectamente estipulado. Se sabe que intervienen compuestos con función carbonilo que reaccionan con otros amino, formándose polímeros pardos, deseables o indeseables, que pueden modificar el sabor del alimento hasta hacerlo incomedible y alterar su valor nutritivo. En esta reacción participan, fundamentalmente, la lactosa, proteínas, el ácido ascórbico, reductonas, el hierro, el cobre y los fosfatos.

Durante el almacenamiento de la leche en polvo no descremada también podemos observar una oxidación del componente lipídico. El oxígeno actúa sobre los ácidos grasos insaturados por un mecanismo en el que intervienen, sucesivamente, radicales libres, peróxidos lipídicos y compuestos carbonilos. Las consecuencias son la aparición de compuestos volátiles, de olores indeseables, la destrucción de vitaminas liposolubles, la formación de compuestos tóxicos y alteraciones proteicas. Está muy relacionada con la actividad del agua, aumentando correlativamente con el incremento de ésta. Para evitar este problema, el envasado se ha de hacer en una atmósfera de nitrógeno o de gas carbónico. En los países anglosajones se añaden productos antioxidantes, como el ácido ascórbico, o concentrados ricos en tocoferol.

13.4.3. Leche pasteurizada

Ya se han comentado las características de caducidad de la leche pasteurizada; ahora comentaremos, simplemente, el efecto adverso que la presencia de cobre en la leche tiene en la oxidación de las vitaminas. Para evitarlo, habrá que impedir el contacto de la leche con superficies capaces de enriquecerla, por disolución, en metales activos que ejerzan su efecto con posterioridad.

13.4.4. Leche UHT

Si se conserva a 7°C, al cabo de veinte días la leche UHT almacenada adquiere un ligero sabor a óxido que más tarde se torna en sabor a caramelo. Si se conserva a 15°C, el sabor a óxido aparece a los quince días. Con

el almacenamiento prolongado, la leche UHT se torna viscosa, pudiendo llegar a formar un gel cuyo origen, posiblemente, tenga lugar en la reactivación de algunas proteasas que conduce a la degradación del complejo proteico.

Otro riesgo que corre la leche esterilizada es la putrefacción, a consecuencia de la contaminación por gérmenes ambientales una vez abierto el recipiente en el que está envasada. En la leche pasteurizada, la existencia de una flora láctica residual inhibe la proliferación de dichos gérmenes proteolíticos.

13.5. Control microbiológico de la leche

Para el análisis microbiológico de la leche y sus derivados es necesario seguir el siguiente protocolo:

1. Recuento de colonias aerobias mesófilas.
2. Investigación y recuento de *Enterobacteriaceae* lactosa-positivas (coliformes).
3. Investigación y recuento de *Enterobacteriaceae* totales.
4. Investigación y recuento de *Escherichia coli*.
5. Investigación de *Salmonella* y *Shigella*.
6. Investigación y recuento de *Stafilococcus aureus* enterotoxigénico.
7. Investigación y recuento de clostridios sulfitorreductores.
8. Recuento de mohos y levaduras.

Las características generales de los gérmenes y de las técnicas que se han de utilizar se han descrito en unidades anteriores, a las que nos remitimos. No obstante, la recogida de las muestras de los distintos tipos de leche necesita alguna precisión.

Para la leche natural y pasteurizada, se debe agitar en su envase con el fin de homogeneizarla y antes de realizar la apertura del mismo y la toma de muestra de forma aséptica.

En cuanto a la leche concentrada, esterilizada, UHT y evaporada, también se homogeneizará en su envase por inversión repetida. La superficie por la que se tomará la muestra se ha de limpiar y desinfectar varias veces con alcohol; si el recipiente es metálico conviene, además, flamear la zona. La apertura y la toma de muestra también se realizará asépticamente.

Si se trata de leche condensada, se tomarán las mismas precauciones que en el caso anterior y, además, la muestra extraída se diluirá a 1/3 que será la dilución de trabajo.

Para la leche en polvo se realiza una dilución de 10 g de muestra en 90 ml de diluyente estéril y precalentado a 47°C, que puede ser agua de triptona o solución Ringer 1/4. La dilución se homogeneiza y se calienta a 47°C al baño María durante cinco minutos; se mezcla cuidadosamente y se vuelve a calentar unos minutos. La solución así preparada será la dilución de trabajo.

13.6. Microbiología de los derivados lácteos no fermentados

Las asociaciones y sucesiones microbianas que suceden en los derivados lácteos en cuya producción se incluyen fases de fermentación, como el queso, son muy variadas y complejas, y tienen más interés desde el punto de vista tecnológico que por el posible riesgo que provoquen para la salud. Además, una gran parte de los microorganismos nocivos que puede aparecer en estos alimentos están condicionados por el grado de salubridad de la leche de origen. Por eso en este apartado nos referiremos a aquellos productos que no necesitan flora microbiana para su fabricación.

13.6.1. Mantequilla

Al tratarse de un producto de baja humedad (un 15%) y de contenido lipídico elevado (un 80%), la mantequilla resulta bastante estable microbiológicamente. Además, el agua existente es poco aprovechable por parte de los gérmenes, dada su condición de dispersión en pequeñas gotas emulsionadas en la fase lipídica. Igualmente, la adición de sal es desfavorable para el crecimiento bacteriano. Las mantequillas fabricadas a partir de natas o cremas dulces son pobres en bacterias, mientras que las cremas ácidas se siembran con *Streptococcus lactis* y *Streptococcus cremoris*.

Las principales alteraciones están provocadas por bacterias psicrotrofas, como *Pseudomonas* y bacterias semejantes, o por sus lipasas, que producen enranciamiento. *Alteromonas putrefaciens* puede originar olor a podrido.

Los mohos *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Geotricum* y *Torula*, pueden causar coloraciones anómalas diversas.

13.6.2. Helados y postres helados

En la fabricación de los helados y postres helados, los ingredientes se mezclan y pasteurizan. La adición de frutas, colorantes, frutos secos, etc. puede contribuir a la contaminación de la mezcla, pero si la congelación es rápida, inmediatamente después de la pasteurización, las alteraciones serán mínimas.

13.7. Alteraciones en los derivados lácteos

También los derivados de la leche pueden estar sujetos a alteraciones diversas, desde su producción hasta su venta a los consumidores. Reflejaremos aquí las más interesantes.

13.7.1. Nata

Según el CAE, en la preparación, conservación y venta de natas queda prohibido:

- La adulteración por adición o sustracción de elementos propios o no de la leche y la sustitución de la grasa por otras extrañas.
- La adición de sustancias conservadoras no autorizadas expresamente.
- El empleo de la palabra nata para designar a otros productos.
- El uso de los envases destinados al transporte de leche y nata para cualquier otro producto o sustancia.
- El transporte de la leche y nata en recipientes que presenten, interna o externamente, condiciones higiénicas inadecuadas.

Para su correcta conservación, se refrigerará por debajo de 8°C o se congelará a -35°C o -40°C, manteniéndose después a una temperatura comprendida entre -18°C y -20°C.

Cualquier actuación que se salte estas prohibiciones y recomendaciones puede alterar gravemente al producto, poniendo en peligro la salud de aquellas personas que lo consuman.

13.7.2. Mantequilla

La mantequilla presenta una coloración amarillenta de mayor o menor intensidad, lo que depende de una serie de factores. Así, por ejemplo, una alimentación del animal rica en pasto verde, con abundantes carotenos, intensifica la coloración, mientras que si el animal consume mucho pienso y permanece durante un tiempo prolongado en el establo, la coloración se torna amarilla-pálida e, incluso, blanquecina. No obstante, en las diferentes regiones, la población tiene una mayor preferencia hacia una determinada coloración. Para aumentar la intensidad pueden utilizarse los colorantes naturales autorizados a tal fin aunque, en ocasiones, se descubren otras sustancias potencialmente nocivas.

Las prohibiciones recogidas en el CAE con respecto a este producto son:

- La mezcla con margarina y/o cualquier otra clase de grasa.

- La adición de cualquier materia extraña no autorizada.
- La adición de agentes conservadores, neutralizantes, antioxidantes o cualquier aditivo no incluido en las listas positivas ni autorizado para este fin.
- La adición de fermentos destinados a los lácteos.
- El almacenado, elaboración o manipulación en las fábricas de mantequilla de otras grasas alimenticias o industriales, así como productos que se puedan suponer destinados a su adulteración.

Con el objeto de retrasar el enranciamiento que favorece la acción del ácido láctico, la mantequilla almacenada en frío contiene una pequeña cantidad de carbonato sódico y de fosfato disódico. Su envasado se puede realizar en recipientes de gran formato, de pequeño formato y de microformato. Los primeros contienen entre 25 y 50 kilos de mantequilla; los segundos son barras de 125 g, 250 g o 500 g; los terceros se emplean para uso individual en colectividades como hoteles o restaurantes.

❑ Aspecto

El aspecto de la mantequilla se puede alterar cuando se elabora sin el necesario cuidado, de modo que adopta una apariencia sucia o con impurezas. La existencia de jaspeaduras puede indicar una utilización incorrecta del colorante o un amasado insuficiente o irregular.

Si, después de fabricada, la mantequilla no se conserva en buenas condiciones, es posible que aparezcan manchas de diversos colores, debidas a la proliferación de mohos, levaduras y, más raramente, bacterias.

❑ Textura

Existen varios defectos relacionados con la textura o consistencia de la mantequilla. La **mantequilla arenosa** aparece por fallos durante la manipulación y el batido de las natas, de manera que se forman grandes cristales que producen una sensación característica. La **mantequilla quebradiza y grumosa** suele aparecer en invierno, dado que los glicéridos forman grandes cristales que privan a la pasta de cohesión por la poca cantidad de oleína libre que los baña. Por el contrario, la **mantequilla blanda y pegajosa** se debe a la existencia de una gran cantidad de oleína libre en estado líquido a temperatura ambiente. Esta misma textura aparece también cuando el amasado ha sido demasiado prolongado.

❑ Olor y gusto

En cuanto al olor y al gusto, las posibilidades son muy numerosas; destaquemos éstas:

- Olor y sabor rancio, a causa de la actuación de las lipasas, de gérmenes contaminantes y de mohos y levaduras.
- Gusto ácido, por un desarrollo excesivo de los fermentos acidificantes o un insuficiente lavado de la pasta.
- Gusto a queso, debido a la degradación de la caseína por acción de gérmenes contaminantes proteolíticos.
- Gusto a levadura, a causa de la invasión por levaduras capaces de realizar fermentación alcohólica.
- Gusto a moho, por la contaminación por mohos, habitual en las mantequillas almacenadas.
- Gusto a malta. La actividad de algunas bacterias lácticas sobre la leucina ocasiona la liberación de 3-metilbutanal, que es el responsable de este defecto.
- Gusto a metal, por oxidación rápida de la grasa, que se ve favorecida por un pH bajo o por la presencia de metales procedentes del material de tratamiento.
- Gusto a nata pasada, debido a desacidificación excesiva de las natas de granja.
- Gusto a sebo, por oxidación de la materia grasa, genera la liberación de peróxidos.
- Gusto a pescado, a causa de la oxidación de los ácidos insaturados presentes en las lecitinas y glicéridos.
- Gusto a cocido, a caramelo o a quemado, por una pasteurización mal realizada.
- Gusto a olor y a lugares cerrados, cuando la mantequilla se almacena junto con otras sustancias que desprenden algún olor, aunque sea discreto.
- Gusto a establo, un lavado insuficiente altera la mezcla.
- Gusto a forraje, a pulpa, a ajo, etc., lo que depende de la alimentación del animal en las diferentes épocas del año.

Por último, también hay que constatar la posible presencia de pesticidas en la composición de la mantequilla, similar a los que afectan a la leche.

13.7.3. Quesos y quesos fundidos

Es absolutamente obligado pasteurizar previamente la leche destinada a la elaboración de quesos frescos o de aquellos que se vayan a consumir en los dos meses posteriores a su producción. Para comprobar si la pasteurización

zación es correcta, se deben realizar las pruebas de la fosfatasa alcalina y de la peroxidasa. La primera ha de dar un resultado negativo y la segunda, positivo para confirmar que se ha hecho un calentamiento entre 70°C y 76°C.

Entre las prohibiciones contenidas en el CAE, figuran éstas:

- El uso, para elaborar toda clase de quesos, de materias primas que estén adulteradas, contaminadas o parasitadas, así como las consideradas extrañas a su composición.
- Cualquier manipulación en la fabricación del queso que tienda a sustituir total o parcialmente la grasa natural de la leche por grasas distintas.
- La adición de agentes conservadores no autorizados.
- La adición de sustancias destinadas al aumento de peso.
- La venta de productos análogos al queso en los que la totalidad de la materia grasa no provenga exclusivamente de la leche.
- La venta y el consumo de quesos adulterados, alterados, contaminados o parasitados.
- La tenencia y venta de queso rallado a granel. El queso rallado sólo se podrá vender bajo envoltura de origen, con la rotulación reglamentaria.

Por otra parte, la formación de la cuajada se puede ver afectada por diversos factores propios o ajenos a la leche, entre los que podemos citar los siguientes:

- Composición de la leche, la cual se ve influida por las estaciones o enfermedades.
- Elevado pH, que alarga el tiempo de coagulación e impide la sinéresis, dando lugar a la aparición de una cuajada blanda.
- Baja concentración de calcio, que actúa igual que el ascenso del pH.
- Presencia de antibióticos, que impiden el normal desarrollo de las bacterias lácticas.
- Excesiva pasteurización, que causa interacciones entre la β -lactoglobulina y las micelas de caseína que impiden la actuación del cuajo.
- Homogeneización. La reducción del tamaño de las partículas grasas dificulta notablemente la formación de la cuajada.
- Temperatura. Por debajo de 10°C, la coagulación no tiene lugar; es máxima entre 40°C y 42°C y se reduce en gran medida por encima de 50°C.

Los caracteres organolépticos del queso son adquiridos, fundamentalmente, durante el proceso del afina-

do o maduración. Sin embargo, las modificaciones en la cuajada son tan variadas, en función de los diferentes tipos de quesos, que es muy difícil precisar la relación que existe entre dichas modificaciones y la aparición de los diferentes aromas, gustos y texturas. En este sentido, son fundamentales los aminoácidos libres, las grasas y la presencia de aldehídos y cetonas y de compuestos sulfurados.

En algunos quesos de pasta blanda se detectan defectos que afectan a su aspecto y textura. En cuanto al aspecto, hay que citar la **coloración azulada** de la superficie por el desarrollo del moho *Penicillium glaucum*; el **pelo de gato**, debido al desarrollo de grandes manchas de *Mucor* de esporas negras; la **grasa o piel de sapo**, por la proliferación de *Geotrichum*; las **manchas negras o pardas**, por el contacto con superficies con hierro enmohecido o no estañadas; las **manchas violetas**, por el desarrollo de *Penicillium funiculosum* y la **pasta rojiza**, debido a afinados demasiado prolongados. Respecto a la textura, encontramos la **pasta seca**, consecuencia de un afinado insuficiente debido a un desuerado excesivo; la **pasta fluida**, por desuerado insuficiente de la cuajada y la **hinchazón** también ocasionada por un insuficiente desuerado, de manera que el queso adopta forma de esponja, con abundante proliferación de gérmenes productores de gas en su interior.

En los quesos de pasta firme pueden aparecer defectos en la corteza, como el **agrietado**, el **escarchado**, la **viscosidad** y el **desarrollo de mohos**. La pasta también puede estar seca o hinchada.

En los quesos de pasta cocida, los defectos de corteza más habituales son la presencia de **manchas negras, verdes o pardas**, la **morgue blanquecina**, el **rojo de los tablards**, el **color vinoso**, el **chancro** y la presencia de **aradores**. Las alteraciones más habituales son los **quesos sin abertura**, los **demasiado abiertos**, los **mil-agujeros** o **de hinchamiento precoz**, el **hinchamiento butírico**, el **queso agrietado**, la **putrefacción** y el **queso de doble tono**.

Al igual que en la mantequilla y en la propia leche, en el queso podemos encontrar restos de pesticidas.

13.8. Control microbiológico de los derivados lácteos

El protocolo general de análisis microbiológico es el mismo que el que se ha indicado para la leche; también aquí las diversas características de los derivados hacen necesario precisar las condiciones de la toma de muestra.

Para el yogur y la cuajada, se fluidifica el producto agitándolo y se toma una muestra en condiciones asépticas que se diluye en agua de triptona o solución Ringer 1/4 calentada a 40°C.

En el caso de la nata, el producto se debe homogeneizar por agitación. El envase se abrirá asépticamente y se tomará la muestra, diluyéndola al 1:10 con una solución estéril al 2% de fosfato dipotásico caliente (entre 45°C y 46°C). La solución se ha de homogeneizar y recalentar a la misma temperatura al baño María durante cinco minutos. Finalmente se homogeneizará de nuevo y se analizará.

Para las muestras de mantequilla, se obtienen trozos mediante una sonda, cuchillo o espátula estériles. Los trozos se introducen en tubos de centrífuga, que se calientan a 45°C al baño María hasta su licuación. Se centrifuga a 1.200-2.000 rpm y se desecha la materia grasa, utilizando la fase acuosa para el análisis.

En el queso se trabaja sobre la totalidad del producto, sin desechar la corteza. Con alguno de los instrumentos que se acaban de mencionar, se obtienen trozos de queso, que se introducen en el triturador-homogeneizador; como diluyente se añade fosfato dipotásico al 2% precalentado a 45°C o 46°C y se tritura y homogeneiza.

En el yogur, es posible determinar su flora específica, *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, ya que es un producto que se obtiene por la actividad conjunta de estos fermentos lácticos, los cuales, además, deben mantenerse viables en una tasa mínima

de 10^7 gérmenes por gramo. Su presencia y número en el producto en las cantidades adecuadas, hacen inviable la presencia de flora de contaminación y patógena, pues producen un pH bajo, lo que es una garantía de salubridad.

Para su investigación, se hacen una serie de diluciones decimales utilizando como diluyente agua de triptona. Se preparan por duplicado tantas placas de Petri como diluciones se hayan realizado, mezclando 1 ml de solución con 15 ml del medio del cultivo diferencial para *Lactobacillus bulgaricus-Streptococcus thermophilus* (*L-S Differential Medium*), que se hará calentado a 45°C-47°C. Se mezclan bien el medio y el inóculo, la muestra se deja solidificar y se incuba a 43°C durante cuarenta y ocho horas.

Las colonias de *Lactobacillus bulgaricus* crecen de forma irregular, rojas, rizoides y rodeadas de una zona blanca y opaca. Las de *Streptococcus thermophilus* son redondas u ovals, también rojas, y están rodeadas de una pequeña zona clara.

El número total de colonias típicas en cada caso, multiplicado por el factor de dilución de la placa, permitirá conocer la cantidad de colonias por gramo o mililitro. Para una buena calidad del yogur, el número de colonias de cada tipo, individualmente, no debe ser inferior a 10^7 colonias por gramo o mililitro.

ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE

- 1 Utilizando la información bibliográfica adecuada, sobre infecciones y toxiinfecciones alimentarias en un margen de tiempo dado, causadas por la leche y los derivados lácteos, estudiando los alimentos responsables y los tipos de gérmenes identificados o presuntivos.
- 2 Teniendo en cuenta las características de carga microbiana inicial y de contaminaciones posteriores vistas en esta unidad para los diferentes productos estudiados, establecimiento de hipótesis de contaminación para un alimento del grupo, considerando la posible historia de la manipulación y transformación que haya podido sufrir.
- 3 Elaboración de esquemas de protocolo de recuento, detección e identificación de microorganismos para cada uno de los productos analizados.
- 4 Aplicación del protocolo correspondiente al análisis microbiológico de una muestra de un alimento del grupo.
- 5 Visita a una explotación ganadera de producción láctea, confeccionando un informe sobre la metodología de trabajo, los procesos a los que se someten los productos, las técnicas de higienización, los análisis rutinarios que se realizan, los aparatos usados,...