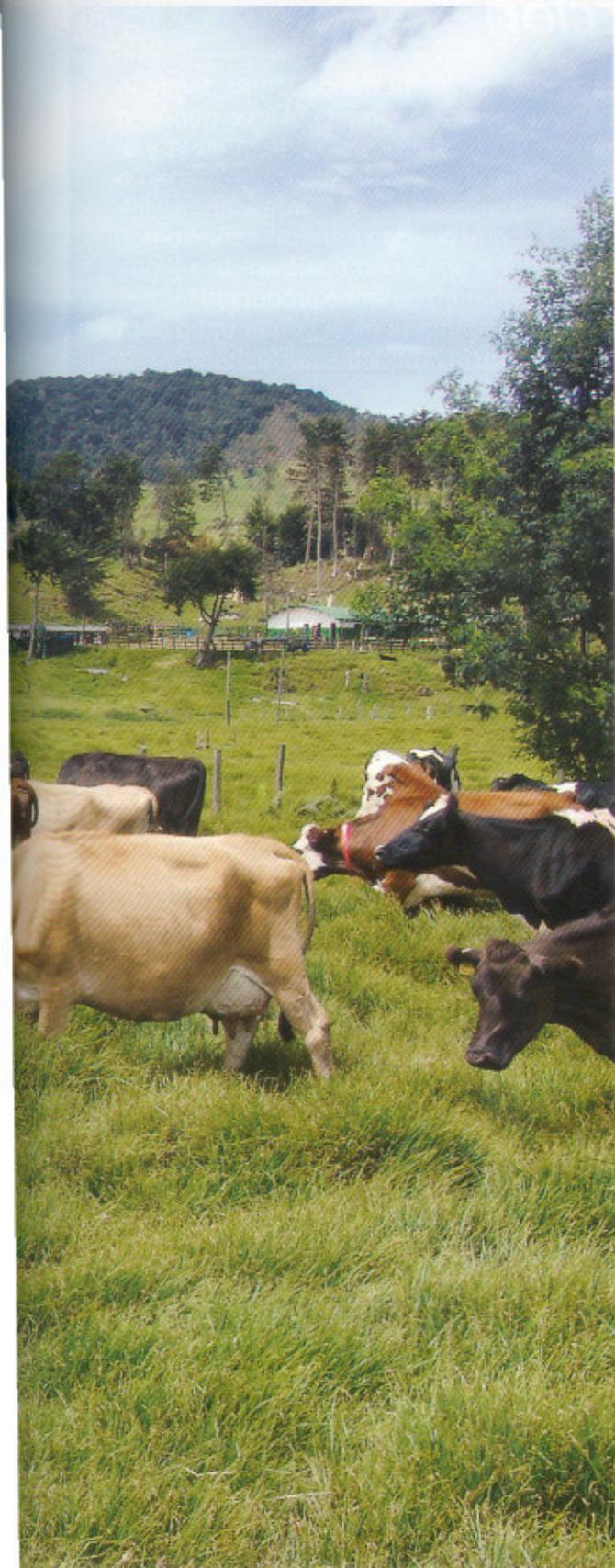


Síntesis de la Leche



Juan M. Cerón A.
Zootecnista Especialista en Producción Animal
Departamento de Asistencia Técnica,
Cooperativa COLANTA, A.A. 2161,
Medellín, Colombia
juanca@colanta.com.co



Resumen

La síntesis de los componentes de la leche se realiza en la glándula mamaria de la vaca, en estructuras celulares llamadas galactocitos o células epiteliales que se encuentran al interior de los alvéolos. Cada célula está irrigada por capilares sanguíneos que suministran todos los nutrientes y elementos necesarios para la síntesis de cada componente lácteo. La concentración sanguínea de glucosa, aminoácidos, ácidos grasos, glicerol, vitaminas y minerales serán determinantes en la cantidad y concentración de sólidos de la leche, particularmente de proteína y grasa láctea.



Summary

The synthesis of milk components takes place in the cow's mammary gland, in structures called galactocytes or epithelial cells, inside the alveoles (small cavities). Each cell is irrigated by sanguineous capillary that provide all the necessary nutritional substances to synthesize each milk component.

The glucose, amino acids, fatty acids, glycerol, vitamins and minerals concentration, will be, in fact, an outstanding factor to reach a balanced milk solids content, especially in terms of protein and fat.

Introducción

El incremento de proteína, grasa y la cantidad de la leche se puede lograr desde la finca con programas adecuados de nutrición y alimentación, hasta el tope genético de las diferentes razas o cruces. Para determinar la composición de la dieta y el manejo alimenticio, es necesario conocer la forma como la glándula mamaria sintetiza cada uno de los componentes lácteos, las estructuras que intervienen, los precursores sanguíneos, y los componentes nutricionales que puedan generar variaciones, tanto en la concentración de metabolitos sanguíneos como en la composición de sólidos lácteos y los reguladores osmóticos que intervienen en el volumen de leche producida. El conocimiento de estos procesos al interior de la glándula mamaria es el primer paso para ajustar la alimentación y el manejo conducentes a incrementar la productividad lechera.

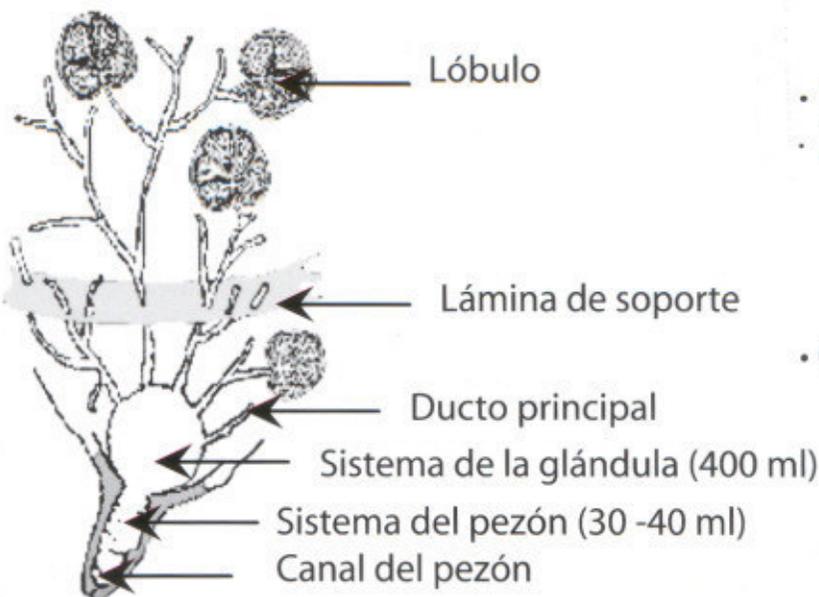
ESTRUCTURA ANATÓMICA Y FUNCIONAL DE LA GLÁNDULA MAMARIA

Las estructuras mamarias que la vaca utiliza para producir la leche se encuentran localizadas en la ubre, suspendidas debajo del abdomen posterior, en la región inguinal. La ubre de una vaca altamente productora de leche puede producir y almacenar más de 30 kilogramos de leche por cada ordeño, aunque en las diferentes razas o cruces de vacas, esta capacidad es muy variable.

En una vaca madura, el tejido mamario puede llegar a pesar 50 kilogramos, aunque lo normal es una variación del peso entre 14 y 32 kilogramos.

La ubre de las vacas está constituida por cuatro glándulas mamarias, o cuartos, que funcionan en forma independiente y cada uno drena leche a través de un pezón independiente.

Sistemas de Ductos Mamarios



- Tejido conectivo
- Lóbulos
 - Vasos capilares
 - Ductos pequeños
 - Alveolo
- Células secretoras

La punta del pezón se cierra con un anillo de tejido muscular liso llamado esfínter del pezón. En su parte superior, el pezón se abre en la cisterna de ubre, que almacena la leche hasta que la misma es ordeñada o succionada.

La leche fluye dentro de la cisterna de la glándula por medio de miles de conductos. Los conductos más pequeños reciben la leche producida en los alvéolos que se encuentran reunidos a su alrededor en lóbulos. Los millones de alvéolos hacen, en forma colectiva, la masa principal de la glándula mamaria (5, 6, 8).

Cada alvéolo posee todas las estructuras necesarias para producir leche y enviarla dentro del sistema de conductos, los alvéolos están rodeados por células mioepiteliales, que intervienen en el reflejo de la eyección de la leche. No se presentan modificaciones en la composición de la leche una vez que la misma ha sido enviada dentro de los conductos (5).

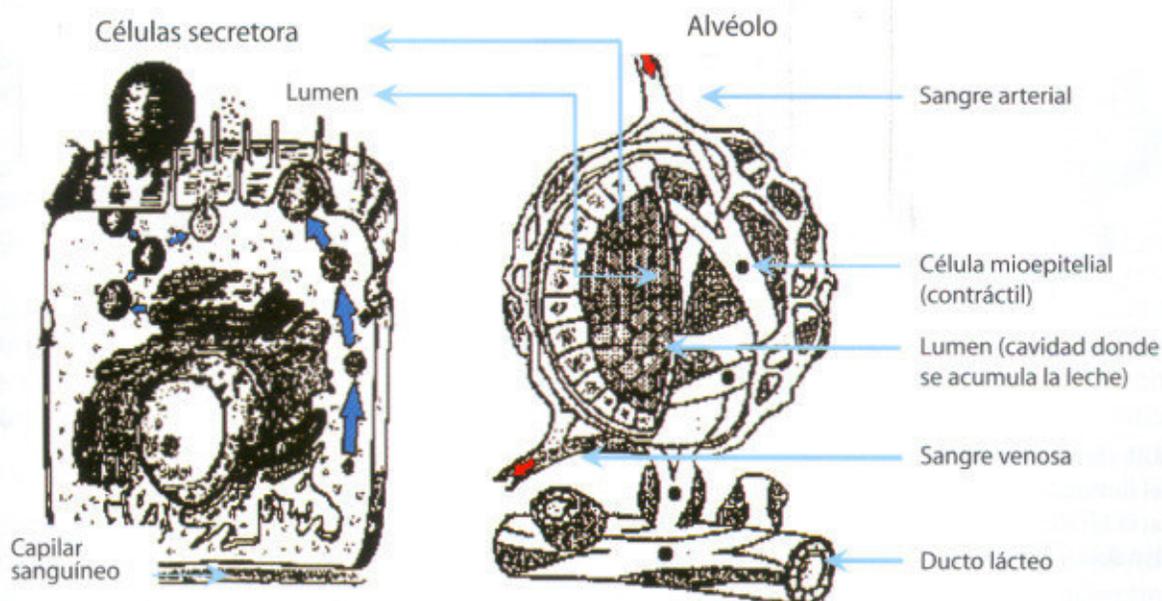
La leche es sintetizada en las células secretoras, llamadas también células epiteliales o galactocitos, que tapizan internamente los alvéolos y drenan la leche producida en el lumen alveolar.

En su estado natural (con la glándula mamaria vacía), el galactocito tiene forma cilíndrica y está rodeado por una membrana plasmática la cual contiene gran cantidad de poros que permiten la salida de los componentes lácteos (5, 6, 8).

La cantidad de leche producida es proporcional al número de galactocitos presentes en la glándula y, por lo tanto, al área desde la cual la leche puede ser liberada dentro del sistema de conductos. Estas células se encuentran altamente especializadas para la producción de los componentes de la leche.

Internamente, los galactocitos poseen diferentes organelos para su funcionamiento: Núcleo que porta el material genético, DNA y RNA; retículo endoplasmático y ribosomas que reciben el RNA del núcleo y se encargan de la síntesis de las proteínas; el aparato de Golgi que es el lugar donde se sintetiza la lactosa, adicionalmente posee grandes vacuolas que sirven para el control homeostático con el agua y para facilitar la secreción de los componentes lácteos (5, 6).

Células secretoras dentro del alvéolo

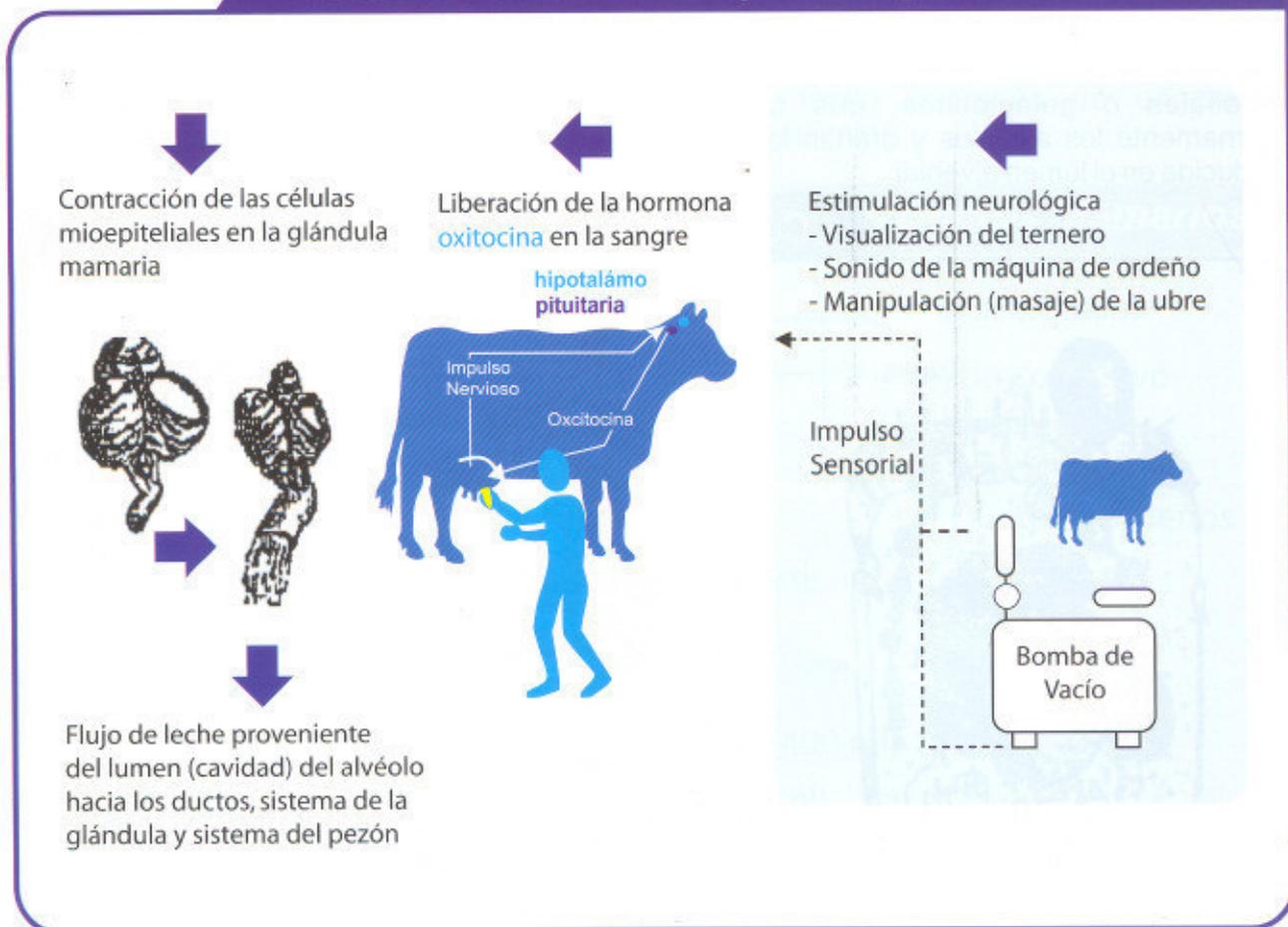


Los galactocitos están en contacto, a través de la membrana plasmática, con una red de capilares sanguíneos que surten a la célula de los elementos necesarios para su mantenimiento y para la producción de los componentes lácteos.

Los tejidos secretores de leche en la vaca, necesitan grandes cantidades de nutrientes. Por cada litro de leche producida, aproximadamente 500 litros de sangre deben de ser circulados a través de la ubre para enviar los nutrientes requeridos. Las arterias y venas principales, localizadas en el tejido mamario, suministran y drenan de sangre a la ubre (5, 6).

Una vez sintetizados, los componentes lácteos son secretados al lumen alveolar donde permanecen hasta el momento del ordeño o del amamantamiento del ternero, cuando por acción de las células mioepiteliales, en respuesta al estímulo de la hormona oxitocina, se obliga a su salida a través de los ductos lácteos. La grasa de la leche es la excepción, pues debido al tamaño de las gotas, no puede atravesar los poros de la membrana plasmática, por lo tanto permanecen en el interior de la célula epitelial hasta la finalización del ordeño cuando disminuye la presión intramamaria facilitando su salida de la célula, pero llevándose consigo parte de la membrana plasmática. Este tipo de secreción se denomina Apocrina (6, 8).

Estimulación del reflejo de expulsión de leche



SÍNTESIS DE LACTOSA

La lactosa se sintetiza en el aparato de Golgi de los galactocitos a partir de glucosa proveniente en el torrente sanguíneo. Su único precursor es la glucosa (2, 5).

Los hidratos de carbono en la dieta de la vaca se fermentan en el rumen para formar los ácidos grasos volátiles (AGV) incluyendo el acético, propiónico y butírico. La glucosa que la vaca necesita como materia prima para sintetizar lactosa se forma en el hígado. Aquí la mayoría de la glucosa se forma por el metabolismo del ácido propiónico, mientras que algo proviene del metabolismo de los aminoácidos o gluconeogénesis.

Estudios muestran que un 25% o más de glucosa es removida de la sangre cada vez que pasa por la glándula mamaria (5).

Una vez que la glucosa entra a los galactocitos de la ubre, es utilizada para cuatro fines:

- 1) La mayoría (cerca del 60-70%) es utilizada para producir lactosa.**
- 2) La parte que va a estimular la producción de proteína;**
- 3) La parte que se transforma en glicerol como precursor de la formación de grasa;**
- 4) La parte que es utilizada para sintetizar las enzimas necesarias para la producción de grasa (el ciclo de la lactosa).**

La lactosa es un disacárido que se encuentra constituido por dos azúcares, glucosa y galactosa. La galactosa es sintetizada a partir de la glucosa. Una molécula de galactosa y una molécula de

glucosa se encuentran unidas para formar la lactosa. La enzima sintetasa de lactosa produce la unión y es esencial para la síntesis de la lactosa (5, 9).

La secreción de lactosa dentro del alvéolo produce el arrastre de agua, dentro del mismo. Cada microgramo de lactosa en la leche arrastra aproximadamente diez veces su peso en agua, generando la osmoregulación del alveolo (5).

La lactosa es uno de los determinantes principales del volumen de leche debido a que representa aproximadamente la mitad de la presión osmótica en la leche y por lo tanto controla el volumen de agua. Así, la síntesis de lactosa es muy importante al determinar el volumen de leche. La enzima sintetasa de lactosa es fundamental para el volumen de leche producido. La sintetasa se constituye de dos subunidades precursoras, la α -lactoalbúmina y la transferasa de galactosil. Las variaciones genéticas en la α -lactoalbúmina pueden ser indicadores importantes en el potencial de producción de leche (2, 5, 9).

SÍNTESIS DE GRASA

La grasa de la leche se forma a partir de ácidos grasos sintetizados de novo en los galactocitos cuyo precursor principal es el acetato y butirato proveniente de la fermentación ruminal y ácidos grasos preformados que llegan en el torrente sanguíneo provenientes de las grasas de la dieta o de la grasa movilizada del tejido adiposo. Del total de la grasa de la leche, la mitad proviene de la dieta de la vaca, la cantidad restante es sintetizada en las células de la glándula mamaria (2, 4, 5).

Los ácidos grasos representan alrededor del 90% del total de la grasa de la leche (ver tabla 1)(1).

Tabla 1:
Principales Ácidos Grasos de la Leche

Ácido Graso	% sobre el contenido total de Ácidos Grasos	Átomos de Carbono	Estado a temperatura ambiente
Saturados			
Ácido Butírico	3.0 – 4.5	4	Líquido
Ácido Caprónico	1.3 – 2.2	6	Líquido
Ácido Caprílico	0.8 – 2.5	8	Líquido
Ácido Cáprico	1.8 – 3.8	10	Sólido
Ácido Laurico	2.0 – 5.0	12	Sólido
Ácido Mirístico	7.0 – 11.0	14	Sólido
Ácido Palmítico	25.0 – 29.0	16	Sólido
Ácido Estearico	3.0 – 7.0	18	Sólido
Insaturados			
Ácido Oléico	30.0 – 40.0	18	Líquido
Ácido Linoléico	2.0 – 3.0	18	Líquido
Ácido Linolénico	Hasta 1.0	18	Líquido
Ácido Araquidónico	Hasta 1.0	20	Líquido

Tomado de Bylund, G., 1999

Los ácidos grasos de cadena larga, presentes en la grasa de la leche, son absorbidos directamente de la sangre y su origen puede ser dietario o de grasa corporal. Los ácidos grasos de cadena corta son sintetizados por la glándula mamaria (3).

Los ácidos grasos vegetales ingeridos en la dieta de las vacas, son altamente insaturados (deficientes en átomos de hidrógeno y su estructura presenta uno o más enlaces dobles). En el rumen, moléculas adicionales de hidrógeno son adicionadas (saturación) antes de que el ácido graso entre al torrente sanguíneo para circular como lipoproteína rica en triglicéridos. Las bacterias que realizan este proceso construyen parte de los ácidos grasos en una estructura de forma isomérica trans, la cual debe posteriormente convertirse en forma cis para su entrada a la glándula mamaria (4, 9).

Estas lipoproteínas ricas en triglicéridos son transportadas a las células mamarias; sin embargo, son demasiado grandes para pasar directamente a través de la membrana celular y deben ser divididas en dos subunidades de glicerol y ácido graso, acción realizada por la enzima lipasa lipoprotéica, que se encuentra en las paredes capilares del tejido mamario. Los ácidos grasos divididos pueden entrar a los galactocitos (5).

Estudios demuestran que gran cantidad de lipoproteínas ricas en triglicéridos, son removidas de la sangre por la glándula mamaria para uso en la síntesis de grasa de la leche (4, 5).

Otros ácidos grasos libres pueden movilizarse directamente desde la sangre; estos incluyen a los ácidos grasos de cadena larga. Aún así, la mayoría de los ácidos grasos en la leche son aquellos que

poseen una cadena menor de 16 carbonos de largo y son principalmente sintetizados en la glándula mamaria directamente (4).

Los ácidos grasos acético y butírico se encuentran entre los ácidos grasos volátiles producidos en el rumen que entran al torrente sanguíneo y son utilizados para sintetizar los ácidos grasos de cadena corta que predominan en la leche. Aproximadamente 17 - 45% de la grasa de la leche es producida del acético y 8 - 25% del butírico. Por lo tanto, la fermentación del rumen es esencial para asegurar un suministro constante de estos ácidos grasos volátiles. Algunos subproductos del acético y del butírico (los llamados cuerpos cetónicos) pueden ser utilizados también para la síntesis de grasa de la leche.

El propiónico, es utilizado para la síntesis de lactosa pero no entra dentro del proceso de síntesis de grasa. Se pueden lograr modificaciones en la proporción de ácidos grasos de la leche mediante cambios

introducidos en la dieta para vacas lecheras, tratando de obtener mayor proporción de ácidos C 18:0 y C 18:1 con respecto al C 16:0, aún cuando no afecten la grasa depositada en las reservas corporales (4).

SÍNTESIS DE PROTEÍNAS

Los precursores para la síntesis de las proteínas de la leche son los aminoácidos y la glucosa presentes en el torrente sanguíneo (2).

Las proteínas en la leche son sintetizadas en los galactocitos de la glándula mamaria a partir de los aminoácidos esenciales. Estos deben ser transportados por la sangre. Se requieren también de aminoácidos no esenciales debido a que pueden ser proveídos por la sangre o pueden ser producidos en las células mamarias a medida que son necesarios (ver tabla 2) (5).

Tabla 2:
Contenido de aminoácidos en las proteínas de la leche

Aminoácidos Esenciales		Aminoácidos No Esenciales	
Aminoácido	g /100 g de proteína	Aminoácido	g /100 g de proteína
Metionina	2.5	Acido Glutámico	23
Fenilalanina	5.2	Tirosina	5.1
Leucina	9.7	Acido Aspártico	7.2
Treonina	4.6	Alanina	3.6
Lisina	7.9	Glicina	2
Arginina	3.6	Serina	5.8
Isoleucina	5.6		
Histidina	2.7		
Valina	6.6		

Adaptado de Bylund, G. 1999.

La síntesis de proteínas en los galactocitos se realiza en los compartimentos del retículo endoplásmico rugoso.

La estructura de la proteína es predeterminada por la información genética (ADN) que contiene la célula. El ADN hace la molécula de ARN a partir de la cual, la secuencia de aminoácidos que constituyen la proteína, es copiada.

Vacuolas (pequeñas burbujas) en el citoplasma de la célula llevan las proteínas a la superficie de la misma y las liberan cuando la vacuola se fusiona con la membrana celular.

Para una adecuada síntesis de proteínas lácteas en la glándula mamaria, es necesario un fino equilibrio entre la cantidad y concentración de cada uno de los aminoácidos necesarios para la síntesis de la proteína láctea.

“Si un aminoácido no está presente en el sitio de la síntesis de proteína en el momento oportuno, la falta de ese aminoácido limita o evita la síntesis de la molécula entera de proteína” (2).

Algunas proteínas que se encuentran en la leche no son sintetizadas en las células mamarias pero son transportadas hacia la misma por la sangre. La albúmina es considerada como la típica proteína del suero de leche. Es producida en el hígado y su concentración en la leche está relacionada con la concentración en el suero (5). La α -Lactoalbúmina juega un papel importante en la síntesis de la lactosa en la glándula mamaria. La β -Lactoglobulina es la proteína más abundante en el suero de la leche (ver tabla 3) (1).

Tabla 3:
Concentración de Proteínas en la leche

	Conc. en la leche (g/kg)	% de proteína total (p/p)
α_{s1} - caseína	10.0	30.6
α_{s2} - caseína	2.6	8.0
β - caseína	10.1	30.
κ - caseína	3.3	10.1
Total Caseína	26.0	79.5
β - Lactoglobulina	1.2	3.7
α - Lactoalbúmina	3.2	9.8
Albumina del suero sanguíneo	0.4	1.2
Inmunoglobulinas	0.7	2.1
Otras	0.8	2.4
Total Seroproteínas	6.3	19.3
Proteína de la membrana del glóbulo de grasa	0.4	1.2
Proteína total	32.7	100

Adaptado de K. F. Ng-Kwai-Hang, 1997

Las inmunoglobulinas son transportadas dentro de la leche por medio de la sangre y linfa desde el bazo y los ganglios linfáticos.

Los linfocitos productores de anticuerpos, presentes en el calostro durante los primeros tres días de lactancia, provienen de la sangre y pueden alojarse en la glándula mamaria durante el comienzo de la lactancia y contribuir a la producción de IgG en el calostro, pero ellos no se encuentran presentes en los estadios posteriores de la lactancia (1, 5, 10).

Experimentos han demostrado que los polimorfismos genéticos de las proteínas de la leche y del suero, están asociados a diferentes niveles de producción de leche,

proteína total y caseína; adicionalmente, presentan diferentes características industriales (7).

La κ -caseína, aunque se encuentra en baja cantidad en la leche, se ha considerado como una de las variantes genéticas de gran importancia por su influencia en la firmeza de la cuajada en el proceso de elaboración de quesos, razón por la cual se utilizan sus variantes como criterio de selección en los programas de mejoramiento genético; no obstante, al igual que los demás polimorfismos de la caseína, los diferentes alelos genéticos impactan otros parámetros productivos y de composición de la leche (ver tabla 4) (7).

Tabla 4:
Producción de leche, proteína total y caseína en los polimorfismos genéticos de la κ -caseína

κ - caseína	Litros / día (kg)	Proteína Total (%)	Caseína (%)	Proteínas del Suero (%)
AA	20.88	3.37	2.65	0.71
AB	21.44	3.37	2.67	0.70
BB	20.83	3.44	2.75	0.69

Adaptado de K. F. Ng-Kwai-Hang, 1997



SECRECIÓN DE MINERALES

Los minerales que contiene la leche, no son sintetizados en la glándula mamaria, sino obtenidos por los galactocitos directamente del torrente sanguíneo y transportados a través de las células mamarias hasta el lumen alveolar donde son secretados con los demás componentes de la leche. Los minerales pasan de la sangre a la leche mediante sistemas de transporte activo, aspecto que explica las diferencias entre la concentración mineral de la sangre y la leche (ver tabla 5) (5, 8, 10).

Tabla 5: Composición mineral de la leche

Mineral	mg / 10 ml de leche	Concentración relativa a la concentración de la sangre
Calcio	125	10
Magnesio	12	10
Sodio	58	1 / 7
Potasio	138	5
Cloro	103	3
Fósforo	96	10
Citratos	175	100
Sulfatos	30	
Otros Elementos	< 0.1	

Adaptado de Homan E. J. and Wattiaux M. A. 1997

Una parte de los minerales se encuentran asociados a otros componentes lácteos. En una leche sin alteraciones el 65% del calcio, el 60% del magnesio y el 50% del fósforo se encuentran asociados a las caseínas (en forma coloidal). El sodio, el potasio y el cloruro están totalmente en solución (10).

Las concentraciones de sodio, potasio y cloro en la leche son el segundo determinante principal del volumen de agua que es acarreado en la leche

(regulador de la "presión osmótica"). Ellos complementan el efecto de la lactosa al determinar el volumen de leche producido (5).

PRECURSORES SANGUÍNEOS PARA LA SÍNTESIS DE LECHE

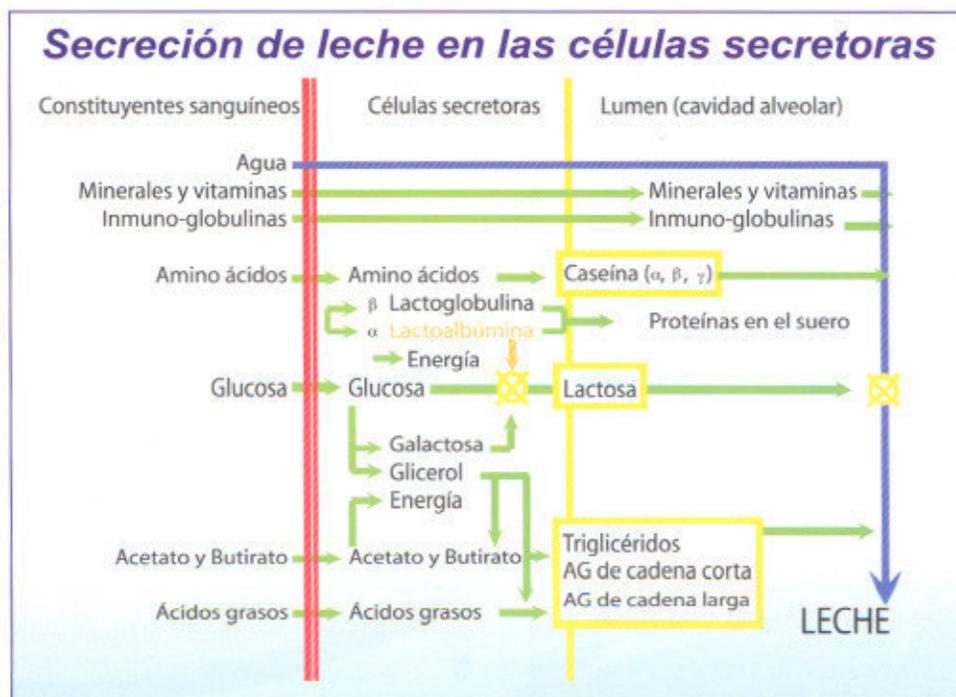
La producción de los componentes lácteos es particularmente dependiente de la disponibilidad de precursores sanguíneos en los capilares que surten la glándula mamaria (ver tabla 6) (2, 5, 8).

Tabla 6: Precursores sanguíneos de los componentes de la leche

Constituyente de la leche	Precursor sanguíneo
Agua	Agua
Lactosa	Glucosa
Proteínas	
Caseína	Aminoácidos
β- Lactoglobulina	Aminoácidos
α- Lactoalbúmina	Aminoácidos
Albúmina del suero lácteo	Albúmina del suero sanguíneo
Inmunoglobulinas	Inmunoglobulinas
Grasa	
Ácidos grasos	Acetato, β- hidroxibutirato, ácidos grasos
Glicerol	Glucosa, glicerol proveniente de triglicéridos
Minerales	Minerales
Vitaminas	Vitaminas

Adaptado de Homan E. J. and Wattiaux M. A., 1997

Secreción de leche en las células secretoras



La tasa y frecuencia de paso de sangre a través de los capilares y la concentración sanguínea de cada uno de los precursores son los factores determinantes para la eficiencia de la glándula mamaria en la síntesis y obtención de todos los elementos necesarios que conforman la leche (ver tabla 7) (2,5).

Tabla 7: Composición del plasma sanguíneo y de la leche

Plasma Sanguíneo		Leche	
Constituyente	%	Constituyente	%
Agua	9	Agua	87
Glucosa	0.05	Lactosa	4.90
		Caseína	2.90
Sero Albúmina	3.20	β - Lactoglobulina	0.20
Sero Globulina	4.40	α - Lactoalbúmina	0.52
Grasa Neutra	0.06	Grasa Neutra	3.70
Fosfolípidos	0.24	Fosfolípidos	0.10
Calcio	0.009	Calcio	0.12
Fósforo	0.011	Fósforo	0.10
Sodio	0.34	Sodio	0.05
Potasio	0.03	Potasio	0.15
Cloro	0.35	Cloro	0.11
Ácido Cítrico	Trazas	Ácido Cítrico	0.20

Adaptado de Martinet, J y Houdebine, L. M. 1993

Los nutrientes que circulan por la sangre provienen de la dieta, luego de su proceso de fermentación ruminal y posterior digestión de algunas fracciones del alimento. Otros nutrientes se encuentran previamente almacenados en el organismo del animal (10).

Bibliografía

1. **BYLUND, G.** Manual de Industrias Lácteas. Madrid: Tetra Pak, Processing Systems 1996. 436 p.
2. **CAMPABADAL, C.** Factores que afectan el contenido de sólidos de la leche. 1999. Documento personal.
3. **CARULLA, J.** Factores nutricionales y no nutricionales que determinan la composición de la leche. SEMINARIO ALPINA. Bogotá. 1997.
4. **CEBALLOS, A.** La utilización de grasas como suplemento nutricional para bovinos lecheros. Documento de Estudio, Santiago de Chile: Universidad Católica de Temuco, 1999.
5. **HOMAN E., J. and WATTIAUX, M. A.** Structure and function of the mammary system. University of Wisconsin, The Babcock Institute, 1997. Disponible en CD.
6. **JACOBSON, N. L. and PARK, C. S.** Fisiología de los animales domésticos de Dukes. México: UTHEA, 1999.
7. **K. F., NG-KWAI-HANG.** A Review of the relationship between milk protein polymorphism and milk composition / milk production. In: Milk Protein Polymorphism: Proceedings of the IDF seminar held in Palmerston North, New Zealand. 1997.
8. **MARTINET, J. Y HOUDEBINE, L. M.** Biologie de la lactation. INRA, Francia: Inserm, 1993.
9. **MATHEWS, C. K. AND VAN HOLDE, K. E.** Bioquímica. Madrid: Mcgraw-Hill; Interamericana, 1998. 1283 p.
10. **TAVERNA, M.** Composición Química de la Leche (online). Disponible en Internet: <<http://www.e-campo.com/section/tambo>>. 2002.



Químicos Omasoma

Praderas más verdes y sanas

Calidad

Precio justo

Respaldo técnico

www.quimicosoma.com
e-mail: servicioalcliente@quimicosoma.com
PBX: 2245556
Río Negro: Mall Llano Grande Local 4. Tel: (4) 5371024
Tunja: Av. Oriente No. 2-10 sur. Tel: (8) 7407915
Bucaramanga: Cll. 22 No. 18-29 Barrio San Francisco. Cel. 315-0
Villavicencio: Cra. 33 No. 17-35 local 3 Piso 1. Tel: (8) 66542
Espinal: Av. Idema Zona Industrial. Tel: (8) 2489082
Pasto: Cra. 12A No. 15-33 Violetas III. Tel: (2) 7201930
Valle: Cra. 33A No. 30-43 Local 1 Barrio La Estancia. Tel: (2) 275