

## Capítulo 10

### FACTORES NUTRICIONALES QUE AFECTAN LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE

*Juan M. Cerón A, Zoot<sup>1</sup>; Hector J. Correa C, Zoot, MSc.<sup>2</sup>*

#### Resumen

*La composición de la leche puede ser afectada por factores como la raza, la genética, la nutrición y el manejo de los hatos. En su estado natural, la composición de leche de bovino varía en rangos normales entre 10.5 y 14.5% de sólidos totales, 2.5 y 6% de grasa, 2.9 y 5% de proteína, 3.6 y 5.5% de lactosa y 0.6 y 0.9% de minerales. La síntesis de los componentes lácteos está determinada por la oportunidad y cantidad de precursores sanguíneos que lleguen a la glándula mamaria, siendo estos los factores que pueden ser manipulados por la nutrición para variar los componentes de la leche. La grasa de la leche puede variar por factores nutricionales como la cantidad y tipo de fibra, relación forraje concentrado, tamaño de las partículas de alimento, suplementación con grasas, proteínas y aditivos en la dieta y frecuencia de suplementación.*

---

<sup>1</sup> Departamento de Asistencia Técnica, Cooperativa Colanta, A.A. 2161, Medellín, Colombia, [juanca@colanta.com.co](mailto:juanca@colanta.com.co)

<sup>2</sup> Profesor Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, A.A. 568 Medellín, Colombia, [hjcc\\_unal@hotmail.com](mailto:hjcc_unal@hotmail.com)

*Por su parte la proteína de la leche puede variar por factores nutricionales como cantidad de energía de la dieta, síntesis ruminal de proteína microbiana, cantidad de carbohidratos no estructurales, contenido de fibra, proteína y grasa de la dieta entre otros.*

**Palabras clave:** Componentes lácteos, grasa, lactosa, proteína.

## Nutritional factors affecting milk composition

### Summary

*Milk composition can be affected by factors such as breed, genetics, nutrition and herd management. The composition of bovine milk may vary between 10.5 and 14.5% for total solids, 2.5 and 6% for fat, 2.9 and 5% for protein, 3.6 and 5.5% for lactose and 0.6 and 0.9% for minerals. Synthesis of milk components is determined by availability of blood precursors in mammary gland thus, milk composition can be affected by diet. The type and quantity of fiber, particle size of feed, supplementation with fat, protein and additives as well as supplementation frequency can modify fat concentration in milk. Protein concentration can be modified by changing the energy of the diet, by ruminal synthesis of microbial protein, by the amount of non-structural carbohydrates, fiber content, protein, fat in the diet and other factors.*

*Key Words.* Milk components, fat, lactose, protein.

### Introducción

La composición de la leche es el factor que determina su valor nutricional y su calidad industrial. Leche con mayor contenido de sólidos, especialmente proteína y grasa, aportan más nutrientes al consumidor y mejoran las propiedades organolépticas del producto. Mayor concentración de los sólidos en la leche genera mayor rendimiento en los procesos de industrialización, particularmente en la fabricación de mantequilla, quesos y en el proceso de pulverización. La leche producida en los sistemas especializados en las ganaderías colombianas, en clima frío, presenta, en general, bajo contenido de sólidos, particularmente de proteína, y en algunos casos de grasa (Tabla 1). Las causas pueden atribuirse, en parte, a la baja capacidad genética de las vacas para la producción de leche con alta concentración de sólidos y por otro lado, a factores ambientales, particularmente de nutrición y alimentación, que no permiten a las vacas expresar su máximo potencial para la producción de sólidos lácteos. Esta deficiencia en

la producción de sólidos lácteos en los sistemas especializados de producción lechera, es un obstáculo para alcanzar la rentabilidad y eficiencia que le permita a la ganadería colombiana competir exitosamente en los mercados internacionales.

Este ensayo reúne información sobre los factores nutricionales que afectan la composición de la leche, para que el lector pueda comprender el comportamiento del hato especializado y, en la práctica, pueda proponer estrategias nutricionales, alimenticias y de manejo que permitan mejorar el contenido de los sólidos lácteos.

**Tabla 1: Composición de la leche bovina en diferentes países**

País*	Grasa (%)	Proteína (%)
Alemania	4.25	3.41
Bélgica	4.22	3.42
Canadá	3.7	3.24
Colombia**	3.53	3.15
España	3.41	3.10
Estados Unidos	3.66	3.15
Francia	4.24	3.28
Israel	3.27	2.92
Nueva Zelanda	4.67	3.52
Suiza	4.02	3.28

\* Fuente: ICAR –International Comittee for Animal Recording, marzo 2000

\*\* Total de la leche captada por la Cooperativa Colanta, septiembre 2002

## La leche y sus componentes

La leche es un líquido complejo que contiene más de 100.000 diferentes moléculas. La leche y sus derivados proveen de nutrientes (energía, proteína, grasa, minerales y vitaminas) y protección inmune (6). Los componentes de la leche son similares en la mayoría de las especies de mamíferos pero su concentración presenta variaciones (Tabla 2). Las cantidades de los distintos componentes principales pueden variar considerablemente entre vacas de diferentes razas como se puede apreciar en la tabla 3 (6, 7, 13). La genética de las distintas razas resulta en diferentes valores medios de composición (9); sin embargo, el mejoramiento genético a partir de la selección, que se realiza en diferentes regiones del planeta, ha generado modificaciones a estos valores (Tabla 4) (2, 6).

**Tabla 2: Composición de la leche en diferentes especies**

Especie	Grasa	Proteína	Lactosa	Cenizas
Vaca	3.9	3.4	4.8	0.8
Asno	1.2	1.7	6.9	0.45
Búfala	10.4	5.9	4.3	0.8
Cabra	3.5	3.1	4.6	0.79
Yegua	1.6	2.7	6.1	0.51
Cerda	8.2	5.8	4.8	0.63
Ballena	33.2	12.2	1.4	1.4

Adaptado de Jacobson, N. L.

**Tabla 3: Rangos de variación de los componentes de la leche de vaca**

Constituyente Principal	Límites de Variación	Valor Medio
Agua (%)	85.5 – 89.5	87.5
Sólidos Totales (%)	10.5 – 14.5	13
Grasa (%)	2.5 – 6	3.9
Proteínas (%)	2.9 – 5	3.4
Lactosa (%)	3.6 – 5.5	4.8
Minerales (%)	0.6 – 0.9	0.8

Adaptado de Revilla, A.

**Tabla 4: Composición de la leche de vacas de diferentes razas**

Raza	Grasa(%)	Proteína(%)	Lactosa(%)	Cenizas(%)	Sólidos (%)
Cebú	4.9	3.9	5.1	0.8	14.7
Jersey	5.5	3.9	4.9	0.7	15.0
Guernsey	5.0	3.8	4.9	0.7	14.4
Ayrshire	4.1	3.6	4.7	0.7	13.1
Pardo Suizo	4.0	3.6	5.0	0.7	13.3
Holstein	3.5	3.1	4.9	0.7	12.2

Adaptado de Jacobson, N. L.

**Agua.** El contenido de Agua en la leche puede variar de 85.5 a 89.5%; en algunos casos, una leche normal puede exceder estos límites. El porcentaje de agua es también afectado por la variación en el contenido de cualquiera de los otros constituyentes de la leche (1, 13). El agua sirve como medio disolvente o de suspensión para los constituyentes de la leche dándole su característica de producto líquido (13).

**Grasa.** La grasa es uno de los componentes más importantes debido a que afecta el valor nutritivo, sabor y propiedades físicas de la leche entera y de los derivados lácteos (1,13). El valor nutritivo de la grasa en el consumo humano es debido a su alto contenido energético, a su capacidad de transporte de vitaminas liposolubles y a la presencia de ácidos grasos esenciales como el linoléico y el araquidónico (13). La grasa en la leche está presente en pequeños glóbulos en emulsión, con diámetros que oscilan entre 0.1 y 20 micras (1, 13). La emulsión es estabilizada por una membrana muy delgada de solo 5 a 10 nanómetros de espesor que rodea a los glóbulos. Esta membrana tiene una composición compleja, formada principalmente por fosfolípidos, lipoproteínas, proteínas, enzimas, elementos traza y agua ligada (1, 9). La grasa de la leche está compuesta por triglicéridos (son los componentes dominantes), di- y monoglicéridos, ácidos grasos, esteroides, carotenoides (que le dan el color amarillo a la grasa), vitaminas A, D, E y K, y otros elementos en cantidades traza (1, 9). Los glóbulos de grasa son las partículas más grandes y más ligeras de la leche, con una densidad de 0.93 g/cm<sup>3</sup> (a 15 °C) (9). La separación de la grasa de los demás componentes de la leche da lugar a la obtención de crema de leche y a la fabricación de mantequilla (13).

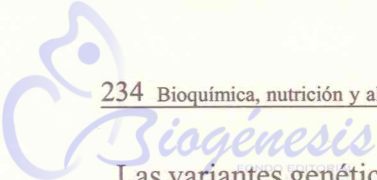
**Proteínas.** Son los más complejos y valiosos compuestos orgánicos de la leche, sobre todo por el papel muy importante de este producto en la dieta humana (13). La leche contiene cientos de tipos distintos de proteínas, muchas de las cuales se encuentran en muy pequeñas cantidades; la caseína es la más importante por ser dominante en cantidad (1, 9, 13). Como todas las proteínas, las caseínas forman fácilmente polímeros que contienen diversos tamaños de grupos de moléculas y se les conocen como micelas de caseína que pueden medir hasta 0.4 micras y se encuentran en suspensión en la leche. Son las responsables del color blanco de la leche y de algunos quesos (1, 9). La caseína de la leche presenta polimorfismos en su perfil y secuencia de aminoácidos que se han identificado y clasificado en cuatro sub grupos:

$\alpha_{s1}$ -caseína presenta cinco variantes genéticas (A, B, C, D y E)

$\alpha_{s2}$ -caseína presenta cuatro variantes genéticas (A, B, C, D y E)

$\beta$ -caseína presenta siete variantes genéticas (A<sup>1</sup>, A<sup>2</sup>, A<sup>3</sup>, B, C, D y E)

$\kappa$ -caseína presenta cuatro variantes genéticas (A, B, C y D)



Las variantes genéticas de cada subgrupo y los subgrupos entre sí difieren en solo unos pocos aminoácidos (8). Por su parte, las proteínas del suero,  $\beta$ -Lactoglobulina y  $\alpha$ -Lactoalbúmina, presentan siete y tres variantes genéticas respectivamente (8).

La agregación de las micelas de caseína, por acción del cuajo o de factores químicos como el pH, induce a la formación de la cuajada que es el proceso básico en la fabricación de los quesos (1, 9). La caseína es el principal componente de los quesos (1, 9, 13). En la industria, la caseína es utilizada también para la fabricación de plásticos no inflamables, peines, botones, monturas para anteojos, bolas de billar, aisladores eléctricos, papel de alta calidad; goma para ser usada en refrigeradores, aviones, autos y muchos usos más (13).

**Lactosa.** Es un azúcar que se encuentra solamente en la leche. Es un disacárido conformado por una molécula de glucosa y otra de galactosa. La lactosa es el más importante carbohidrato de la leche y su contenido varía entre 3.6 y 5.5% (1). La lactosa es soluble en agua y se presenta como una solución en la leche (1, 9). En el ámbito industrial, la lactosa se usa principalmente como materia prima para la elaboración de alimentos para humanos y animales, o puede ser usada en procesos de caramelización de productos (13).

**Vitaminas.** La leche contiene muchas vitaminas. (ver tabla 5). Entre las más conocidas figuran la A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C y D. Las vitaminas A y D son liposolubles y el resto son hidrosolubles (1). Los procesos térmicos, utilizados para la industrialización inactivan o desnaturalizan gran cantidad de vitaminas; por esta razón las empresas industriales adicionan vitaminas a la leche para consumo humano (1, 9, 13).

**Tabla 5: Vitaminas de la leche y necesidades diarias de los adultos**

Vitamina	Cantidad en 1 lt. de leche (mg.)	Necesidades diarias de un adulto (mg.)
A	0.2 – 2	1 – 2
B <sub>1</sub>	0.4	1 – 2
B <sub>2</sub>	1.7	2 – 4
C	5 – 20	30 – 100
D	0.002	0.01

**Minerales y sales.** La leche contiene varios minerales. Su concentración total es inferior al 1%. Las sales minerales se encuentran disueltas en el suero de la leche o formando compuestos con la caseína. Las sales más importantes son las de calcio, sodio, potasio y magnesio; se encuentran como fosfatos, cloruros, citratos y caseinatos (1). En pequeñas cantidades se encuentran hierro, cobre y zinc. Las sales de potasio y calcio son las más abundantes en la leche normal (1).

## Síntesis de la leche.

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 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 (6,7).

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 (6, 7, 9). 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 la ubre que almacena la leche hasta que la misma es succionada (6, 7). La leche fluye dentro de la cisterna de la glándula por medio de miles de conductos; los más pequeños de estos conductos 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 (6, 7, 9). Cada alvéolo posee todas las estructuras necesarias para producir leche y enviarla al 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 (6).

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 (6, 7). En su estado natural (con la glándula mamaria vacía), el galactocito tiene forma cilíndrica y está rodeado por una membrana plasmática que contiene gran cantidad de poros que permiten la salida de los componentes lácteos (6, 9). 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 (6). Internamente, los galactocitos poseen diferentes organelos para su funcionamiento: el núcleo que porta el material genético, DNA y RNA; el retículo endoplasmático y los ribosomas que reciben el RNA mensajero 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 (6, 7). 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 extraer los nutrientes requeridos. Las arterias y venas, localizadas en el tejido mamario, suministran y drenan de sangre hacia la ubre (6, 7).

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 (7). 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 (7, 9).

**Síntesis de lactosa.** La lactosa se sintetiza en el aparato de Golgi de los galactocitos a partir de glucosa proveniente del torrente sanguíneo (2, 6). Su único precursor es la glucosa (2). 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, principalmente a partir del propionato; y en menor proporción de algunos aminoácidos, por la vía de la gluconeogenesis. Existen estudios que muestran que un 25% o más de glucosa es removida de la sangre cada vez que pasa por la glándula mamaria (6). 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; el resto se divide entre; 2)



la parte que va a producir energía para la síntesis de proteína incluidas las enzimas necesarias para la síntesis de lactosa; 3) la parte que se transforma en glicerol-fosfato como precursor de la formación de grasa; 4) otra fracción 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 (6, 10). 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 (6). 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 (2, 6). Por tanto la enzima sintetasa de lactosa es fundamental para el volumen de leche producido; esta sintetasa tiene de dos subunidades precursoras, la  $\alpha$ -lactoalbúmina y la transferasa de galactosil (6, 10). Las variaciones genéticas en la  $\alpha$ -lactoalbúmina pueden ser indicadores importantes en el potencial de producción de leche (6).

**Síntesis de grasa.** La grasa de la leche se forma a partir de ácidos grasos sintetizados *de novo* en los galactocitos; el precursor principal es acetato y b-hidroxibutirato proveniente de la fermentación ruminal y ácidos grasos preformados que llegan en el torrente sanguíneo provenientes de las lipoproteínas o de la grasa movilizada del tejido adiposo (2, 4, 6). Del total de los ácidos grasos, la mitad proviene de la síntesis *de novo*, el 40% de las lipoproteínas y el 10% de tejido adiposo. (4, 6). Los ácidos grasos representan alrededor del 90% del total de la grasa de la leche (ver tabla 6) (1). 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) (4, 10). 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).

**Tabla 6: Principales Ácidos Grasos de la Leche**

Ácido Graso	% sobre el contenido total de Ácidos Grasos	Átomos de Carbono	Estado a temperatura ambiente
<b>Saturados</b>			
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
<b>Insaturados</b>			
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

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; ésta acción es 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 (6). Se ha demostrado 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, 6).

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 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

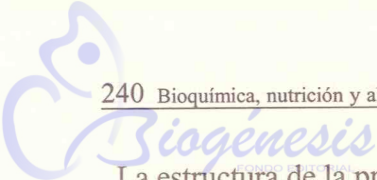
acético y 8 - 25% del butírico. Por lo tanto, la fermentación en el rumen es esencial para asegurar un suministro constante de estos ácidos grasos volátiles. Algunos subproductos del acético y del butírico (los llamados cuerpos cetónicos) pueden ser utilizados también para la síntesis de grasa de la leche. El propiónico, es utilizado para la síntesis de lactosa pero no entra en el 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<sub>18:0</sub> y C<sub>18:1</sub> con respecto al C<sub>16:0</sub>, 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, que deben ser transportados por la sangre. Se requiere 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 sean necesarios (ver tabla 7) (6). La síntesis de proteínas en los galactocitos se realiza en los compartimentos del retículo endoplásmico rugoso.

**Tabla 7: 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		



La estructura de la proteína es predeterminada por la información genética (ADN) que contiene la célula. El ADN moldea la molécula de ARN a partir de la cual se copia la secuencia de aminoácidos que constituyen la proteína. 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, se requiere 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 (6). La  $\alpha$ -Lactoalbúmina juega un papel importante en la síntesis de la lactosa en la glándula mamaria. La  $\beta$ -Lactoglobulina es la proteína más abundante en el suero de la leche (ver tabla 8) (1). Las inmunoglobulinas son transportadas a la glándula mamaria por medio de la sangre y la linfa (1, 6, 14).

**Tabla 8: Concentración de Proteínas en la leche**

	Conc. en la leche (g/kg)	% de proteína total (p/p)
$\alpha_{s1}$ -caseína	10.0	30.6
$\alpha_{s2}$ -caseína	2.6	8.0
$\beta$ -caseína	10.1	30.
$\kappa$ -caseína	3.3	10.1
Total Caseína	26.0	79.5
$\beta$ -Lactoglobulina	1.2	3.7
$\alpha$ -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

Los linfocitos productores de anticuerpos, presentes en el calostro durante los primeros tres días de lactancia, provienen de sangre y linfa 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 (6). Se ha demostrado que el polimorfismo genético de las proteínas de la leche y del suero, están asociados a diferentes niveles de producción de leche, de la concentración de proteína total y de caseína; adicionalmente, presentan diferentes características industriales (8).

La  $\kappa$ -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; por esta razón 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 9) (8).

**Tabla 9: Producción de leche, proteína total y caseína en los polimorfismos genéticos de la  $\kappa$ -caseína**

$\kappa$ -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, son 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 10) (6, 9, 14). 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 encuentra asociados a las caseínas (en forma coloidal). El sodio, el potasio y el cloruro están totalmente en solución (14). 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»). Estos elemen-

tos complementan el efecto de la lactosa al determinar el volumen de leche producido (6).

**Tabla 10: 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

**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 11) (2, 6, 9). 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 12) (2,6). 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 (14).

### Factores que afectan la producción de componentes lácteos

La composición de la leche está influenciada por una amplia gama de factores que, en forma individual o conjunta, determinan el volumen y la participación porcentual de cada componente (3). La cantidad relativa de componentes de la leche que una célula mamaria es capaz de producir, está determinada genéticamente; sin embargo, la cantidad real producida depende de la disponibilidad de precursores necesarios para sintetizar cada componente (2).

**Tabla 11: Precursores sanguíneos de los componentes de la leche**

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

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

**Tabla 12: Composición del plasma sanguíneo y de la leche**

Plasma Sanguíneo		Leche	
Constituyente	%	Constituyente	%
Agua	9	Agua	87
Glucosa	0.05	Lactosa	4.90
Sero Albúmina	3.20	Caseína	2.90
Sero Globulina	4.40	$\beta$ -Lactoglobulina	0.20
Grasa Neutra	0.06	$\alpha$ -Lactoalbúmina	0.52
Fosfolípidos	0.24	Grasa Neutra	3.70
Calcio	0.009	Fosfolípidos	0.10
Fósforo	0.011	Calcio	0.12
Sodio	0.34	Fósforo	0.10
Potasio	0.03	Sodio	0.05
Cloro	0.35	Potasio	0.15
Acido Cítrico	Trazas	Cloro	0.11
Adaptado de Martinet, J y Houdebine, L. M. 1993		Acido Cítrico	0.20

La producción láctea puede cuantificarse por dos criterios generales: el porcentaje (concentración) y los kilogramos (volumen) de los componentes de la leche. Los kilogramos se usan generalmente para determinar el volumen total, la cantidad de grasa y la cantidad de proteína en la leche producida, mientras que el porcentaje se usa para determinar la concentración o participación de la grasa, de la proteína y de los sólidos en el volumen total de producción. El porcentaje de los componentes de la leche se obtiene mediante una medición directa (infrarrojo) o análisis químicos, mientras que la cantidad de estos es el producto de multiplicar el porcentaje del componente por la producción de la leche (3).

La variación en la producción de componentes lácteos puede interpretarse de distinta manera debido al sistema de medición empleado; así, ante un incremento en el volumen de producción diaria de leche y la estabilidad en la concentración de proteína, grasa y sólidos totales, se evidencia un incremento en la síntesis (en cantidad) de la grasa y la proteína producida; así mismo, ante una disminución en el volumen de producción diaria de leche y la estabilidad en la concentración de proteína, grasa y sólidos totales, se evidencia una disminución en la síntesis (en volumen) de la grasa y la proteína (3).

Los principales factores que pueden causar variación en la composición de la leche se pueden agrupar en aspectos genéticos, aspectos fisiológicos y sanitarios de la vaca, el medio ambiente y los factores nutricionales (2). El 55% de la variación en la composición de la leche se debe a factores genéticos, mientras que el 45% restante se debe a la variación en el medio ambiente y a cambios de tipo fisiológico en las vacas (3, 5). Dentro de los aspectos genéticos, tienen gran importancia la raza y la variabilidad genética entre individuos de la misma raza. Estas diferencias genéticas ofrecen una oportunidad para mejorar la composición de la leche a través del mejoramiento genético (3).

Algunos de los aspectos fisiológicos que causan variación en la composición de la leche son: La producción de calostro al inicio de la lactancia, el volumen de producción láctea, edad de la vaca, estado de gestación y variación normal durante las semanas de lactancia. La sanidad de la vaca, especialmente la mastitis y algunas enfermedades de tipo metabólico, son causal de cambios en la composición de la leche (6, 9). Algunos factores ambientales como la temperatura ambiental o la humedad relativa pueden generar pequeños cambios en la composición de la leche; sin embargo, el factor ambiental que mayor efecto tiene sobre esta variación es la nutrición (2, 3).

**Factores nutricionales.** La nutrición, alimentación y manejo de las vacas puede producir cambios en la composición de la leche (2, 5, 6). El manejo nutricional



de los háos puede ayudar a mejorar la composición de la leche con efectos observables en el corto plazo (3). Algunos componentes de la leche son muy estables en su concentración y presentan muy poca variación. Es el caso de la lactosa y de los minerales, los cuales no responden a cambios nutricionales (6). Su estabilidad en la concentración de la leche es debida a que la lactosa en primer lugar, y los minerales en segundo término, son los responsables de regular la presión osmótica de las células mamarias, por lo tanto, a un aumento en la síntesis de lactosa, se compensa con un mayor flujo de agua desde la sangre hacia el interior de la glándula mamaria, regulando así el balance osmótico y, de paso, equilibrando la concentración de lactosa en la leche. Con los minerales ocurre un proceso similar (2, 6, 9).

La variación en el porcentaje de sólidos totales de la leche se debe a los cambios sufridos en la concentración de grasa y de proteína. La variación de la concentración de lactosa y de los minerales contribuye en muy poca medida a cambios en el porcentaje de sólidos totales de la leche (6). La grasa y la proteína de la leche pueden presentar variaciones de su concentración y responder a cambios en la nutrición de las vacas (2, 3, 5). La concentración de grasa en la leche puede variar en un rango hasta de 3 unidades porcentuales por medio de la manipulación de la dieta; en contraste, el contenido de proteína puede variar hasta en 0.6 unidades porcentuales (2, 3).

**Factores que afectan la concentración de grasa.** De todos los componentes de la leche, el porcentaje de grasa es el más variable y el que más cambios sufre por efecto genético, fisiológico y nutricional (2, 3). La importancia de la alimentación y su efecto sobre el contenido de grasa en la leche se conoce desde hace más de 100 años. Desde 1950, se le atribuyó a los ácidos grasos volátiles producidos en el rumen, la responsabilidad de la variación en el contenido de grasa en la leche (15).

La glándula mamaria realiza síntesis de novo de ácidos grasos a partir de acetato y betahidroxibutirato, que son absorbidos de la sangre. La principal fuente de estos precursores son el acetato y el butirato que se produce en el rumen por fermentación ruminal (acción microbial sobre los nutrientes de la ración). Adicionalmente, el rumen produce propionato (3). Aproximadamente la mitad de la grasa encontrada en la leche proviene del ácido acético y secundariamente del ácido butírico (6). El propionato por su parte, es el principal precursor para la síntesis de la lactosa de la leche, y es un precursor importante para la producción de ácido láctico y glucosa; esto estimula la producción de insulina, la cual reduce la liberación de ácidos grasos del tejido adiposo y evita que éstos

sean usados para la síntesis de grasa en las células de la glándula mamaria (2). Los ácidos grasos volátiles, acético y butírico, son producidos en el rumen a partir de la digestión de carbohidratos fibrosos (fibra), realizada principalmente por bacterias celulolíticas. El propiónico es producido en mayor proporción a partir de carbohidratos no fibrosos por bacterias amilolíticas (15).

La proporción de acetato, propionato y butirato y en el rumen, determina en gran medida el nivel de grasa en la leche. A una mayor proporción de acetato y butirato con relación al propionato, aumentará el porcentaje de grasa en la leche. Hay un incremento lineal en el porcentaje de grasa en la leche a medida que la relación molar entre acetato y propionato se incrementa hasta 2.2, por encima de la cual el incremento de acetato o butirato ya no incide en la cantidad de grasa (3). La producción ruminal de los ácidos grasos volátiles (AGV) como producto de la fermentación, difiere según sea la composición de la dieta porque los distintos microbios tienen mayores afinidades y preferencias para digerir carbohidratos específicos (15).

Las dietas basadas en forraje son ricas en celulosa, con un contenido intermedio de azúcares solubles y pobres en almidón. Aquí se favorece la acción y crecimiento de las bacterias celulolíticas que aumentan la proporción molar de ácido acético sobre el propiónico, con el consecuente aumento en el porcentaje de grasa en la leche (2, 3, 15). La utilización de alimentos concentrados altos en granos, o el uso de forrajes de partícula fina, producen un aumento en la proporción molar de propionato, disminuyendo la relación acetato:propionato en el rumen y produciendo consecuentemente una disminución en el contenido de grasa en la leche (2).

Estudios recientes sugieren un mecanismo diferente que explica la depresión en el contenido de grasa en la leche. Los investigadores Wonsil y Wu, citados por Campabadal (2), encontraron que la producción de ácidos grasos tipo trans  $C_{18:1}$  eran los responsables de la disminución en el porcentaje de grasa cuando las vacas consumían dietas altas en granos y aceites. Existe una correlación negativa significativa (-0.53) entre el contenido de grasa en la leche y el total de ácidos grasos trans. La producción de estos ácidos grasos en el rumen son el principal factor que causa el síndrome de baja producción de grasa; y la cantidad de concentrado en la dieta, el pH del rumen y la fuente de grasa dietética son importantes factores que afectan la acumulación de estos ácidos grasos de tipo trans en el rumen. Los ácidos grasos tipo trans que se producen en el rumen se absorben en el duodeno y son incorporados en la leche; esto afecta la síntesis de ácidos grasos de cadena corta (<16 C) en la

glándula mamaria y causa una reducción en el porcentaje de grasa en la leche. Estos autores concluyen que la depresión de grasa en la leche no está relacionada con cambios en los patrones ruminales de producción de ácidos grasos volátiles, sino a los cambios asociados a dietas altas en granos que resultan en un aumento en la producción de ácidos grasos tipo trans. También demostraron que el nivel de forraje en la dieta, la utilización de sustancias neutralizantes (amortiguadores) y la fuente de grasa, afectan la llegada de ácidos grasos tipo trans al duodeno, disminuyendo los valores presentes en la leche y por ende incrementando el porcentaje de grasa (2).

## Factores nutricionales que pueden afectar el contenido de grasa en la leche

**Cantidad y tipo de fibra.** La fibra es la parte tosca (leñosa) del forraje y está constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (3). El factor nutricional que más afecta el contenido de grasa en la leche es una cantidad baja de material fibroso en relación con la cantidad de carbohidratos fermentables en la dieta. Esta situación produce una reducción en la producción microbiana de ácido acético y butírico, y un aumento en la producción de ácido propiónico (2). El consumo de fibra tiene varios efectos en los rumiantes: estimula la secreción de saliva; es el sustrato principal para las bacterias celulolíticas que producen ácido acético y butírico y aumenta la duración e intensidad de la rumia. Por su parte, el aumento en la cantidad de saliva aporta tampones y diluyentes en el contenido de rumen, regulando así el pH ruminal (11, 15). El estímulo para la producción de saliva está directamente relacionado con la presencia de fibra efectiva (tabla 13).

**Tabla 13: Efecto de la ración en la producción de saliva y la tasa de consumo**

Alimento	Tasa de consumo (g. alimento/min)	Producción de Saliva	
		(ml./min)	(ml./mg. De alim)
Ración peltizada	37	243	0.68
Pasto fresco	283	266	0.94
Ensilaje	248	280	1.13
Pasto deshidratado	8	270	3.25
Heno	70	254	3.63

La efectividad de la fibra depende del tamaño de partícula, digestibilidad, densidad e hidratación, entre otros factores (3). Fibras muy finamente picadas no tienen efecto sobre la producción de saliva. Dietas forrajeras con tamaño de partícula inferior a 3 milímetros resultaron en una depresión en la producción de grasa en la leche, disminución en el pH ruminal y disminución en el tiempo de retención del alimento en el rumen (11). El rango de pH óptimo para una máxima digestión de la fibra es entre 6.2 y 7.0 y corresponde a dietas que contienen desde un 60 hasta un 100% de material fibroso con relación a la cantidad de alimento concentrado (2, 15). La cantidad total de fibra se puede cuantificar por el sistema propuesto por Van Soest, identificando las cantidades de Fibra en Detergente Neutro – FDN y Fibra en Detergente Acido – FDA. La fracción de FDN es la responsable de intensificar la rumia y la motilidad del rumen (15). La concentración de FDN está directamente relacionada con el pH ruminal porque su presencia estimula la producción de sustancias buffer y su fermentación generalmente es menor a la de los carbohidratos no fibrosos y, consecuentemente, tiene una menor producción de ácidos en el rumen (11). Así, el porcentaje de componentes fibrosos de la ración tiene un efecto sobre la producción de saliva, pH del rumen, tiempo de rumia y producción de ácidos grasos volátiles (tabla 14) (2).

**Tabla 14: Fracciones de la fibra y su relación con la rumia, producción de saliva y el pH del rumen**

Fracciones de Fibra (% M.S.)			Masticado (min./día)	Pdn. Saliva (Lt./día)	Rumen (pH)
FDN	FDA	Fibra Cruda			
65	41	34	960	239	7.0
55	34	28	940	234	6.6
45	27	22	900	230	6.2
34	20	16	820	216	5.8
24	13	10	660	198	5.4
14	6	5	340	156	5.0

Adaptado de Campabadal 1999.

El NRC recomienda, para dietas de vacas lactantes, un mínimo de 25% de FDN en la ración y que un mínimo 81% de esta FDN sea aportada por forrajes. La FDN proveniente de alimentos no forrajeros es significativamente menos efectiva para mantener las concentraciones de grasa en la leche que la FDN proveniente de forrajes (11). Un incremento en el porcentaje de componentes fibrosos

en la ración produce un pH ruminal óptimo para la máxima digestión de la celulosa, una mayor producción de saliva y mayor actividad de masticado: todo esto conduce a una mayor relación acetato a propionato, lo que beneficia el porcentaje de grasa en la leche (tabla 15).

**Tabla 15: Fracciones de fibra en la dieta y su relación con la producción de ácidos grasos volátiles**

Fracciones de Fibra (% M.S.)		Acidos Grasos Volátiles (% molar)		
FDN	FDA	Acético	Propiónico	Relación
5	41	70	18	3.90
55	34	67	20	3.40
45	27	64	22	.90
34	20	58	28	2.10
24	13	48	34	1.40
14	6	36	45	0.80

Adaptado de Campabadal, 1999

El consumo de dietas que contengan bajas cantidades de FDN o de FDN con poca efectividad, pueden causar desde una pequeña, hasta una severa depresión en el porcentaje de grasa en la leche, como resultado de una relación más estrecha acetato:propionato (2). Es importante conocer el contenido de FDN y FDA en los forrajes, los henos, el ensilaje y los subproductos agrícolas utilizados para la alimentación de las vacas. El contenido de estas fracciones en forrajes tradicionales y subproductos es muy variable, y están afectadas por factores como la especie vegetal y el estado de madurez (2, 6, 11, 15).

**Relación forraje:concentrado.** Cuando se incluyen pequeñas cantidades de alimentos concentrados en la dieta, la formación de ácido acético es predominante (60 a 70% del total) con un porcentaje menor de ácido propiónico (15 a 20%) y butírico (5 a 15%) (tabla 16). Las vacas que están rumiando de 5 a 8 horas al día, producen grandes cantidades de saliva, lo cual ayuda a mantener un pH neutro en el rumen y una población bacteriana que se adapta bien a la digestión de celulosa. En este caso, el suministro de ácido acético a la glándula mamaria puede ser adecuado para llevar al máximo la producción de grasa en la leche; sin embargo, un suministro limitado de ácido propiónico puede limitar la síntesis de glucosa y consecuentemente la síntesis total de proteína y de leche (6).

**Tabla 16: Efecto de la relación entre forraje y concentrado en la producción de ácidos grasos volátiles**

Consumo de M.S.		Acidos Grasos Volátiles (% molar)		
% Forraje	% Concentrado	Acético	Propiónico	Relación
100	0	70	18	3.90
80	20	67	20	3.40
60	40	64	22	2.90
40	60	58	28	2.10
20	80	48	34	1.40
0	100	36	45	0.80

Adaptado de Campabadal, 1999

Cuando se agregan concentrados a la dieta, los carbohidratos fibrosos se reemplazan por carbohidratos no estructurales que se fermentan más rápida y completamente; como resultado, la producción total de AGV aumenta y la relación entre los ácidos acético y propiónico disminuye. La fermentación de los carbohidratos no estructurales (almidones y azúcares sencillos) típicamente lleva a un porcentaje más bajo de ácido acético y a un porcentaje más alto de ácido propiónico. Así, la adición de una pequeña cantidad de concentrados a la dieta, cuando se compone solamente de forrajes, puede mejorar la producción de leche considerablemente. Esto se debe al incremento de precursores de leche, especialmente a la glucosa, sin un efecto adverso en el suministro de ácido acético para la glándula mamaria y así, el porcentaje de grasa en la leche no se ve afectado (3, 6). Pero si se agregan grandes cantidades de concentrado a la dieta, el nivel de ácido acético puede reducirse a 40%, mientras que el contenido de ácido propiónico puede subir hasta 40%. La relación molar del acetato al propionato pueden ser menores a 2.10, y así el ácido acético puede ser relativamente insuficiente. La falta de ácido acético genera una depresión en la producción total de grasa y por lo tanto baja la concentración de grasa en la leche y (2, 6).

El exceso de concentrados en la dieta puede suspender completamente la actividad ruminal. Cuando la relación forraje:concentrado es menor a 60:40, se afecta la producción de saliva que actúa como neutralizador (amortiguador) y la falta de un amortiguador en el rumen lleva a una reducción adicional del pH. La digestión de la celulosa se reduce porque las bacterias que la digieren son sensibles a un pH ruminal bajo. Sin embargo, las bacterias que producen ácido láctico, que es un ácido fuerte, resultan predominantes. Este aumento de acidez en el rumen

resulta en una baja eficiencia del crecimiento bacteriano y en desordenes en el apetito (tabla 17). La exposición a esta condición durante largo plazo lleva a problemas podales o laminitis (2, 3, 6).

**Tabla 17: Relación entre el consumo de forraje y concentrado y su efecto en el pH del rumen**

Consumo de M.S.		Rumen
% Forraje	% Concentrado	pH
100	0	7.0
80	20	6.6
60	40	6.2
40	60	5.8
20	80	5.4
0	100	5.0

Adaptado de Campabadal, 1999

Con base en materia seca, la relación mínima entre el forraje:concentrado debe ser de 40:60. Aunque esto sirve solo de guía, pues hay otros factores dietéticos que pueden afectar la fermentación ruminal y disminuir la relación acetato:propionato (2).

**Tamaño de partículas del forraje.** La utilización de forraje finamente molido resulta en una fermentación que favorece la producción de ácido propiónico y consecuentemente en la reducción del porcentaje de grasa en la leche. A su vez, las partículas muy finas de forraje no favorecen un proceso adecuado de rumia, debido a que no realizan la acción de fibra efectiva, lo que resulta en una producción baja de saliva (2, 11). Un tamaño medio de partícula de 62 mm, o mayor, es necesario para mantener el porcentaje molar de ácido propiónico en el rumen por debajo del 25% y el porcentaje de grasa en leche mayor a 3.6%. Las partículas con tamaños de 12.7 mm o mayores, y cuando un 25% tienen una longitud mayor de 25.4 mm son la mejor opción para mantener un porcentaje óptimo de grasa en la leche (2). El molido muy fino de los granos (<1/8") y la peletización de los mismos, son factores que influyen negativamente en el porcentaje de grasa en la leche (11).

**Suplementación con grasas.** La adición de grasa en niveles de 5 a 6% de la dieta, para aumentar el consumo de energía y la producción de leche, tiene un

efecto variable en el porcentaje de grasa en la leche pero en general los efectos son negativos. El tipo y la cantidad de grasa son los dos factores más importantes que afectan esta respuesta (2, 3, 4). El uso de grasas saturadas aumenta marginalmente el contenido de grasa en la leche, mientras que grasas insaturadas y cantidades grandes de grasas causan una disminución hasta de 1% en el porcentaje de grasa en la leche: aunque la producción de grasa total se mantiene constante o puede aumentar (2). La reducción en el porcentaje de grasa en la leche, es por un efecto negativo en la fermentación ruminal y por la producción de ácidos grasos de configuración trans (2, 3, 4). Las grasas cubren físicamente las partículas de fibra disminuyendo la adherencia de las bacterias a la celulosa y, consecuentemente, la digestión de la fibra y la producción de acetato (2, 3, 4, 6).

El uso de grasas en la ración puede producir ciertos efectos negativos sobre los procesos de fermentación ruminal. Entre otros se puede señalar la disminución en la síntesis *de novo* de lípidos, la inhibición de la flora celulolítica y la disminución de la digestión de la proteína. El efecto inhibitorio es más marcado cuando se usan grasas insaturadas en vez de grasas saturadas, lo que se explica, hasta en un 95%, por el punto de fusión de la grasa utilizada (4).

Se ha observado una reducción en la fermentación ruminal que da lugar a una baja digestibilidad de las fuentes energéticas no lipídicas, que puede alcanzar hasta un 50% cuando se agrega 10% de grasa a la ración (4). Los ácidos grasos no constituyen una fuente energética para los microorganismos del rumen ya que estos hidrogenan del 60 al 90% de los enlaces insaturados, formando ácidos grasos completamente saturados o ácidos grasos monoinsaturados de configuración trans (15).

En el rumen, las grasas inducen a la formación de jabones con cationes divalentes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ , etc) disminuyendo la utilización de los mismos para el crecimiento de las bacterias ruminales. Una disminución en la disponibilidad de  $\text{Mg}^{2+}$  altera la formación de algunas enzimas que son celulolíticas. (Durand y Komisarczuk, 1988 citados por Ceballos (4)). No todas las bacterias del rumen son afectadas de la misma forma; el efecto tóxico es mayor sobre bacterias celulolíticas y metanogénicas que sobre bacterias amilolíticas. En general las bacterias gram + son más sensibles que las gram -. La población de protozoos también se ve afectada por la acumulación de ácidos grasos polinsaturados en el rumen. El efecto neto es una disminución en la fermentación de la fibra, en la relación acetato:propionato y en la producción de grasa en la leche (4).



El uso de grasas protegidas, o con un alto punto de fusión, permite que el efecto sobre las condiciones ruminales sea menor, aunque la grasa no sea totalmente inerte (4). La utilización de grasas protegidas constituye una buena oportunidad para modificar la composición de ácidos grasos de la leche con el objeto de favorecer una mayor proporción de ácidos  $C_{18:0}$  y  $C_{18:1}$ , con respecto al  $C_{16:0}$ ; ésto contribuye a producir una leche más sana para la alimentación humana. Los ácidos grasos presentes en esas grasas contribuyen a la síntesis de triglicéridos de la leche. Entre un 20 a 40% de los ácidos grasos polinsaturados presentes en los lípidos protegidos y suplementados al ganado son transferidos a la leche (2, 4).

La adición de aceites tiene un efecto en la producción de ácidos grasos tipo *trans* y éstos causan una depresión en el porcentaje de grasa en la leche (2, 4, 6, 15). Los ácidos grasos en el rumen son convertidos a formas *trans* que son más estables e hidrogenados con mayor dificultad, lo que permite que haya una mayor acumulación de estas formas que de las *cis*. Los ácidos grasos tipo *trans* no son deseables en la grasa de la leche (4). Los ácidos grasos insaturados *trans* tienen un punto de fusión más alto que los *cis* y son transferidos y absorbidos por el animal en la misma forma; esto conlleva a una mayor participación de estos ácidos grasos en la grasa de la leche, a que sea más dura, y con un punto de fusión más alto, en comparación con otras especies (4, 15). No obstante, la síntesis de grasa en la glándula mamaria se disminuye significativamente con la presencia de altas cantidades de ácidos grasos de configuración *trans* (2, 4). El paso de *trans*  $C_{18:1}$  a  $C_{18:0}$  depende en gran medida de factores como un líquido ruminal libre de células y partículas de alimento, lo que acelera el proceso; pero se inhibe por la presencia de gran cantidad de ácido linoleico y con la presencia de partículas de granos provenientes de la dieta. La utilización de una cantidad elevada de ácido linoleico libre, en la dieta, hace que se forme una mayor cantidad de ácido *trans*-11 octadecenoico y en menor proporción  $C_{18:0}$ , lo que sugiere una inhibición en la última etapa de la hidrogenación y pone de manifiesto que el uso de ácidos grasos polinsaturados inhibe la función microbiana (4).

La utilización de semillas de oleaginosas enteras o trituradas, o grasas protegidas, evitan la depresión en el porcentaje de grasa en la leche y en la mayoría de los casos aumentan su contenido. Esto se debe a que evitan la interacción con los microorganismos ruminales. La soya integral tostada incrementa el porcentaje de grasa en la leche en 0.17 unidades; mientras que la extruida lo disminuye en 0.09 unidades (2). La utilización de grasas con un punto de fusión alto e hidrogenadas tiene un menor efecto negativo sobre el consumo de alimentos, sobre la fermentación ruminal y sobre el contenido de grasa en la leche (tabla 18) (4).

**Tabla 18: Repuesta de la suplementación de grasas en la producción y calidad de leche.**

Tipo de grasa	Cantidad (% M.S.)	Pdn. Leche (kg / día)	Composición de la leche (%)		
			Grasa	Proteína	Lactosa
Cebo hidrogenado	2.7	+2.3	-0.37	-0.16	-0.01
Aceite de soya	2.7	+2.2	-0.86	-0.34	+0.06
Acidos grasos libres	3.4	+1.5	+0.10	-0.09	+0.04
Tigliceridos	3.4	+1.8	-0.27	-0.24	+0.02
Trigliceridos protegidos	4.7	+1.7	-0.40	-0.24	+0.04

Adaptado de Sutton, 1988 y citado por Carulla, J., 1997

**Proteína en la dieta.** La variación de la proteína de la dieta en rangos normales, o las fuentes de proteína utilizadas, no afectan el porcentaje de grasa en la leche; sin embargo, una cantidad insuficiente de proteína degradable en el rumen puede resultar en una reducción en la producción de grasa, cuando la concentración de amonio ruminal no es suficiente para estimular el crecimiento de los microorganismos que digieren la fibra y producen los sustratos para la síntesis de grasa (2). Valores de proteína en la ración, superiores al 7%, no ejercen efecto sobre la grasa de la leche. Valores inferiores al 7% disminuyen la producción de microorganismos ruminales y consecuentemente la grasa de la leche además de deprimir el consumo (3).

**Uso de aditivos en la dieta.** Se pueden usar algunos productos para manipular el pH ruminal. Estos aditivos pueden ser alcalinizantes, que aumentan el pH ruminal, o neutralizantes, que ayudan a mantener estable el pH. (2, 6, 15). El propósito de éstos aditivos es el de mantener un pH del rumen adecuado, (entre 6 y 7), que facilite la digestión de la fibra y una adecuada producción de ácidos grasos volátiles (3). El bicarbonato de sodio ha sido utilizado con éxito para mantener o aumentar el porcentaje de grasa en la leche, especialmente cuando se utiliza ensilaje de maíz como fuente principal de forraje. Efectos poco consistentes o marginales se han observado cuando se utilizan ensilajes de pastos, leguminosas, heno o cascarilla de algodón en la dieta (2).

El mayor efecto del bicarbonato es al inicio de la lactancia. El nivel de suplementación es de 0.75% de la ración total en base seca, o de 1 a 2% en el alimento balanceado. Se requiere que la vaca reciba de 140 a 180 g/día de este producto (2, 3). Existen ciertas ocasiones, en que el uso de bicarbonato de sodio no ayuda a controlar la disminución de grasa en la leche. Esto se debe a que la cantidad de alimento concentrado que se le suministra a las vacas es muy

alto para una sola comida, por lo que el bicarbonato ayuda a neutralizar el pH en el momento que llega al rumen, pero pierde su efecto conforme se van fermentando los carbohidratos no estructurales que causan una disminución en el pH. Esto es común cuando los alimentos balanceados son altos en carbohidratos no estructurales (>50%) y estos se suministran en cantidades mayores a 3 kg por comida (2).

El óxido de magnesio es un agente alcalinizante que ha demostrado producir un efecto positivo sobre la producción de leche y el porcentaje de grasa. El efecto de este producto se debe a un aumento en la transferencia de los lípidos sanguíneos a la glándula mamaria. La suplementación normal del producto es de 0.6% de la materia seca o 50 a 100 g/vaca/día (2, 3). La combinación de 2 partes de bicarbonato y una parte de óxido de magnesio es más efectiva que cada uno en forma separada (2). Otro aditivo que influye en el porcentaje de grasa en la leche es un análogo de la metionina, la hidroximetionina (HMA). Este producto incluido en dietas altas en energía, aumenta el porcentaje de grasa en la leche, y el mayor efecto se produce al inicio de la lactancia. El nivel de HMA utilizado es de 25 g/vaca/día durante los primeros 120 días de lactancia. Se ha demostrado que este valor produce un aumento en la grasa de la leche en 0.35% unidades. El producto tiene la desventaja de no ser muy palatable y su respuesta varía según el tipo de forraje utilizado (2). Existen varios factores que influyen la respuesta al HMA y son la etapa de lactancia (menor a 100 días postparto), producción de leche (>22 kg), nivel de metionina en la dieta (0.15% en la dieta en base a materia seca o 25 a 30 g/vaca/día), dietas altas en concentrados (> 50% de la ración total en materia seca) y concentraciones bajas de proteína dietética (< 15%) (Hutjens, 1994 citado por Campabadal (2)). El modo de acción de la HMA incluye un aumento en la síntesis de lipoproteínas, aumento en la digestión de la celulosa, incremento en el número de protozoarios y, además, incremento de la relación acetato:propionato.

El uso de ionóforos como la monensina sódica puede producir una reducción en el porcentaje de grasa en la leche, pues este producto reduce los microorganismos ruminales que producen el ácido acético (gram +), favoreciendo la producción de ácido propiónico y disminuyendo la relación acetato:propionato. También evita la acción de la lipoproteína lipasa, que reduce la entrada de los ácidos grasos presentes en los triglicéridos y otros lípidos de las lipoproteínas. Sin embargo, como produce un aumento significativo en la producción de leche, los kilogramos producidos de grasa tienden a aumentar (2).

Existen otros productos como son los cultivos de levaduras, que intervienen en

una estabilización del ambiente ruminal, especialmente en el periodo de transición (2 semanas preparto a 4 semanas postparto), cuando se pasa de una dieta baja en energía a una alta. El efecto sobre los componentes de la leche es muy variable. El uso de *Aspergillus oryzae* como aditivo ha producido resultados también muy variables; su efecto sobre el porcentaje de grasa en la leche es producto de su modo de su acción, ya que aumenta el número de bacterias celulolíticas, cambia los patrones de fermentación de los ácidos grasos volátiles y estabiliza el pH ruminal (2).

**Frecuencia de suplementación con alimentos concentrados.** La frecuencia de suplementación con alimentos concentrados puede causar un efecto en el porcentaje de grasa en la leche (2, 4, 5): La tasa a la que se producen los ácidos en el rumen determina el perfil del cambio del pH del rumen; cuando el concentrado se ofrece dos veces al día, la acidez máxima (pH mínimo) se logra 2 a 3 horas después de la alimentación; sin embargo, la alimentación de la misma cantidad de concentrado en porciones más pequeñas a través del día minimiza el cambio del pH del rumen (2, 5, 6). Aumentar la frecuencia de concentrados, o mejor todavía, mezclar el concentrado totalmente con el forraje, reduce la tasa de producción de ácido en el rumen y ayuda a estabilizar su pH. (2, 6). Con bajas cantidades de concentrado, el pH del rumen puede reducirse a menos de 6 por un tiempo corto después de la alimentación. Con altas cantidades de concentrados y con dos alimentaciones al día, el pH cae bajo 6 durante períodos más largos (6). El número de veces que se ofrece el concentrado, así como la cantidad que se ofrece en un momento dado, tienen un efecto importante sobre el pH del rumen y la presencia de acidosis subclínica. Entre más veces se ofrezca el alimento a las vacas, mejor será su utilización, pues se estabiliza el ambiente ruminal. El mayor efecto se encuentra cuando se aumenta la frecuencia a seis o más veces y no se ofrece más de tres kilogramos de concentrado por comida. Ofrecer heno o pasto verde una hora antes de dar el alimento balanceado, ayuda a mantener el porcentaje de grasa en la leche (2).

**Concentración de proteína en la leche.** La proteína de la leche puede ser alterada por cambios en la ración, pero no en la misma medida que la grasa. Las razones para ello radican en que la variación natural en los niveles de proteína en la leche son menores (3).

Los aminoácidos provienen de tres fuentes: proteína microbiana que se produce en el rumen, proteína de la ración que no se fermenta en el rumen y se absorbe como aminoácidos en el intestino y proteína endógena especialmente de origen muscular (3, 6, 15). Son 20 los aminoácidos que conforman la proteína de la

leche; de estos, la vaca puede producir 9 y los 11 restantes se consideran esenciales, es decir, que no pueden ser producidos por el animal y deben ser absorbidos directamente del intestino (3). Si la glándula mamaria no es abastecida con las cantidades de aminoácidos requeridas para la síntesis de proteína la habilidad genética de esta para producir proteína será subutilizada (2, 3, 12).

**Producción de proteína microbiana.** La proteína de origen microbiano se origina del crecimiento de los microorganismos en el rumen; en este proceso se sintetizan aminoácidos durante su crecimiento. La proteína microbiana provee la mayor proporción de aminoácidos usados por la vaca para su metabolismo, incluida la lactancia, por lo tanto los factores nutricionales que influyen la adecuada fermentación en el rumen y el crecimiento microbiano afectarán el contenido de proteína y la producción total de leche (3). Los microorganismos del rumen poseen una capacidad limitada para sintetizar proteína microbiana a partir de las fuentes nitrogenadas disponibles, pero el proceso es afectado por una gran cantidad de factores (6, 12, 15). Una gran porción (40 a 75 %) de la proteína ingerida por la vaca en la dieta se degrada en el rumen, en etapas sucesivas. El nivel de degradación depende de muchos factores, incluyendo la solubilidad de la proteína, la resistencia a las enzimas bacterianas, el ritmo de pasaje de la ingesta a través del rumen, y otros factores (15). Por la acción fermentativa, el nitrógeno que estaba en forma de aminoácidos se convierte en amoníaco. Otras fuentes de nitrógeno no-proteico (urea, nitratos, aminas) pueden convertirse en amoníaco (6).

El amoníaco es utilizado por muchas especies de bacterias en el rumen para producir la proteína bacteriana. El mecanismo de incorporación del nitrógeno a la célula microbiana se realiza mediante la entrada de amoníaco, el cual es inicialmente capturado en forma de aminas como la glutamina y la asparagina, que luego son utilizadas para una posterior aminación del  $\alpha$ -cetoglutarato a glutamato. Se obtiene la síntesis de alanina y aspartato a partir de la aminación del ácido pirúvico y el oxalacetato respectivamente; éstos y el glutamato probablemente se pueden acumular inicialmente en forma libre. Los grupos amino son luego transferidos a otros esqueletos carbonados para la formación de proteína y ácidos nucleicos; esto implica que además del nitrógeno es necesario proveer una fuente energética en forma de carbohidratos (15). La cantidad de proteína bacteriana sintetizada cada día, está en proporción directa con la energía y el carbono disponible para las bacterias (provenientes principalmente de los carbohidratos); es decir, más fermentación de carbohidratos resulta en más síntesis de proteína bacteriana. Cuando las vacas consumen alimentos fermentables, la síntesis de proteína bacteriana en el rumen aumenta si hay amonio suficiente (6, 15). La

mayor fuente energética para el crecimiento bacteriano es una combinación de carbohidratos estructurales tales como la celulosa, hemicelulosa y pectina; y de carbohidratos no estructurales como azúcares libres, disacáridos y almidones. Las pectinas se encuentran asociadas a la pared celular de las plantas pero no están enlazadas covalentemente con las porciones lignificadas y son casi completamente digeridas (12, 15).

Normalmente el amoníaco no limita el crecimiento de bacterias en el rumen (excepto en dietas con menos de 7% de proteína cruda) por dos razones: 1) las bacterias son muy aptas para capturar amoníaco; 2) la vaca posee un mecanismo para conservar nitrógeno y reciclarlo en la saliva.

El amoníaco que escapa de las bacterias se absorbe a través de la pared del rumen y se transporta al hígado donde se transforma en urea. Este exceso de nitrógeno luego puede ser reciclado al rumen a través de la saliva, o excretado en la orina. Los investigadores han determinado que aproximadamente 15% del nitrógeno ingerido por la vaca se recicla como urea en la saliva. Este proceso es muy eficiente cuando las raciones son bajas en proteína (6, 15). Finalmente, las bacterias que crecen en el rumen entran al abomaso igual que cualquier otra partícula de alimento no degradada. La proteína bacteriana, y las proteínas del alimento que han escapado a la degradación bacteriana, son digeridas por los ácidos y enzimas en el tracto posruminal (abomaso e intestino delgado). Los aminoácidos liberados durante la digestión son absorbidos por el intestino delgado hacia la sangre (6, 12, 15), de donde pueden ser utilizados por muchos órganos; en particular por la glándula mamaria para sintetizar la proteína de la leche (12).

**Consumo de energía.** El consumo de energía es el principal factor nutricional que afecta el porcentaje de proteína en la leche. La cantidad de energía consumida, la densidad energética de la dieta y la fuente de energía de la dieta son los factores que más influyen en el nivel de proteína en la leche. Bachman (1994) citado por Campabadal (2) establece que el porcentaje de proteína en la leche aumenta en 0.015% unidades por cada megacaloría de energía neta adicional consumida. Chalupa y col. (1990) citados por Osorio (12) encontraron que el consumo de energía explica el 77% de la variación en el flujo de proteína microbiana cruda que llega al intestino delgado para ser absorbido y utilizado, entre otras cosas para la síntesis de caseína de la leche. El efecto del consumo de energía fermentable sobre el porcentaje de proteína en la leche, es debido a una mayor producción de propionato, lo que favorece la disponibilidad de algunos aminoácidos, especialmente del ácido glutámico que tiene un papel importante en la transaminación de aminoácidos, lo que aumenta la síntesis de

aminoácidos no esenciales. Existe una correlación positiva alta entre la producción de propionato y la proteína en la leche (2).

Un adecuado consumo de materia seca se asegura con una oferta forrajera de buena calidad y en suficiente cantidad y una adecuada suplementación con alimento concentrado que complemente las deficiencias energéticas del forraje. Esto se logra con un buen manejo de la cerca eléctrica que garantice suficiente disponibilidad de pasto para el consumo; un forraje de buena calidad, que no este maduro; un complemento alimenticio adecuadamente balanceado para el tipo de forrajes, suministrado en la cantidad requerida para estimular la síntesis de proteína láctea y de leche, sin afectar el pH ruminal ni la producción de grasa láctea (Tabla 19) (3).

**Tabla 19: Efecto del nivel de concentrado y uso de bicarbonato en la producción y calidad de la leche.**

	Conc. 50% : forraje 50%		Conc. 75% : forraje 25%	
	Sin NaHCO <sub>3</sub>	Con NaHCO <sub>3</sub>	Sin NaHCO <sub>3</sub>	Con NaHCO <sub>3</sub>
Kg / vaca / día				
Leche	32.2	30.5	32.0	35.1
4% FMC	27.1	23.1	26.6	30.5
Composición				
Proteína (%)	3.08	3.34	3.09	3.10
Grasa (%)	2.84	2.37	2.91	3.18

Adaptado de Carulla, J., 1997

**Cantidad de carbohidratos no estructurales en la ración.** Los carbohidratos no estructurales (CNE) son importantes para un adecuado crecimiento microbial (3). La digestión de los almidones por los microorganismos del rumen resulta en la producción de ácido propiónico. Una cantidad mínima de carbohidratos no estructurales, especialmente almidones, es necesaria para evitar una reducción en la digestión ruminal y en síntesis de proteína microbial (2). Para vacas altas productoras de leche, la dieta debe tener un mínimo de 30% de CNE. Si se sobrepasa el 45% ocurre una depresión en el porcentaje de grasa en la leche. El rango óptimo de CNE debe estar entre 30 a 40% (11). La tasa de degradación

de los almidones es muy importante en el contenido total de sólidos de la leche. Si la degradación es muy rápida, se produce acidosis y el porcentaje de grasa disminuye; si es muy lenta se reduce la digestión microbial y la síntesis de proteína. Los almidones de la cebada o del trigo se digieren más rápidamente que los del maíz. El molido fino, las hojuelas con vapor y el contenido de humedad de los granos aceleran la degradación de los almidones (2). El uso de melaza parece disminuir los riesgos asociados con altas inclusiones de CNE como se aprecia en la tabla 21. Los pastos raigras generalmente tienen un contenido de CNE entre 20 y 25% mientras el contenido de los mismos en el kikuyo es inferior a 17%.

**Tabla 21: Efecto de la sustitución de ensilaje de pasto por melaza en la ración de vacas lecheras**

	Melaza (% de la materia seca de la dieta)			
	0	16	32	48
Consumo (kg M.S./día)	14.2	16.7	18.9	19.5
Leche (kg/día)	21.8	24.3	25	22.5
Grasa (%)	4.14	4.0	4.21	4.48
Grasa (kg/día)	0.87	0.97	1.05	1.01
Proteína (%)	3.12	3.23	3.28	3.52
Proteína (kg/día)	0.65	0.79	0.82	0.79

Adaptado de Sutton por Carulla, J. 1997

**Contenido de grasa de la dieta.** La adición de grasa a la dieta generalmente produce una disminución en el porcentaje de proteína entre 0.1 a 0.3% unidades. La razón se debe a que los microorganismos del rumen no son capaces de utilizar los lípidos como fuente de energía para su crecimiento y como consecuencia se reduce la síntesis de proteína microbial. Aunque la producción de leche aumenta, el porcentaje de proteína disminuye al no haber suficientes aminoácidos provenientes de la proteína microbial (2, 4). Cuando se utilizan grasas protegidas, el nivel de proteína sobrepasante debe ser mayor del 6% del total de proteína de la dieta, para evitar una disminución en la cantidad de proteína en la leche (4).

**Cantidad y tipo de proteínas de la dieta.** El nivel de proteína en la dieta tiene un efecto positivo sobre la cantidad de proteína en la leche, producto de un mayor suministro de aminoácidos para su síntesis en la glándula mamaria. La fuente de estos aminoácidos puede provenir de la proteína ruminal, de aminoácidos protegidos y de la proteína sobrepasante. Bachmann (1994) citado por Campabadal



(2) establece que por cada punto porcentual en proteína en la ración, en un rango de 9 a 17%, el porcentaje de proteína aumenta en un 0.2%.

La proteína pasante es la proteína de la ración que no se degradó en el rumen por la acción de los microorganismos y por tanto pasa directamente al intestino donde es utilizada por el animal. En vacas de alta producción, el aporte de aminoácidos pasantes es indispensable para una adecuada síntesis de proteína láctea; se considera que debe ser cerca del 35% de la proteína de la ración. La composición de aminoácidos y la digestibilidad de esta proteína debe ser óptima para que pueda cumplir efectivamente su función (3). En condiciones de pastoreo se ha sugerido que el aporte de metionina y lisina, dos aminoácidos esenciales, pueden mejorar la producción y la calidad de la leche (3). En los sistemas de pastoreo de la zona lechera especializada de Antioquia, el forraje generalmente aporta suficiente cantidad de proteína degradable. En algunos casos el kikuyo aporta un exceso de proteína degradable. Los alimentos concentrados en estas regiones deben ser bajos en proteína degradable y altos en proteína de sobrepaso (3).

## Referencias

1. Bylund, G. 1999. Manual de Industrias Lácteas; Tetra Pak Processing Systems, España.
2. Campabadal, C., 1999. Factores que Afectan el Contenido de Sólidos de la Leche; Documento Personal.
3. Carulla, J., 1997. Factores nutricionales y no nutricionales que determinan la composición de la leche. Seminario Alpina 1997. Colombia
4. Ceballos, A., 1999. La utilización de grasas como suplemento nutricional para bovinos lecheros. Documento de Estudio, Universidad Católica de Temuco, Chile.
5. Grant, R. J., 2001. Alimentación para maximizar los sólidos de la leche. en Documentos de Extensión, Universidad de Nebraska. USA.
6. Homan E. J. and Wattiaux M. A., 1997. Structure and Function of the Mammary System. En: (CD) The Babcock Institute, University of Wisconsin, Madison. USA
7. Jacobson, N. L. and Park, C. S., 1999. Fisiología de los Animales Domésticos de Dukes; Ed. UTHEA, Noriega Editores, Mexico
8. K. F. Ng-Kwai-Hang, 1997. A Review of the relationship between milk protein polymorphism and milk composition / milk production en Milk Protein Polymorphism: Proceedings of the IDF seminar held in Palmerston North, New Zealand.
9. Martinet, J y Houdebine, L. M. 1993. Biologie de la Lactation; Ed. Inserm / INRA, Francia.
10. Mathews, C. K. and Van Holde, K. E., 1998. Bioquímica; Ed. McGraw Hill Interamericana, España
11. Nutrient Requeriments of Dairy Cattle, 2001. National Academy Press. USA
12. Osorio, F., 1999. Efecto de la dieta sobre la composición de la leche. en I Seminario Internacional sobre avances en nutrición y alimentación animal. Universidad de Antioquia. Colombia.
13. Revilla, A. 1992. Tecnología de la Leche; Ed. Herrero Hnos. Sucs., Mexico
14. Taverna, M., 2002. Composición Química de la Leche; <http://www.e-campo.com/section/tambo>.
15. Van Soest, P. J., 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University. USA.

## CONFERENCIA

1998. *Revista de Biología*, 15(1): 1-10.

1999. *Revista de Biología*, 16(1): 1-10.

2000. *Revista de Biología*, 17(1): 1-10.

2001. *Revista de Biología*, 18(1): 1-10.

2002. *Revista de Biología*, 19(1): 1-10.

2003. *Revista de Biología*, 20(1): 1-10.

2004. *Revista de Biología*, 21(1): 1-10.

2005. *Revista de Biología*, 22(1): 1-10.

2006. *Revista de Biología*, 23(1): 1-10.

2007. *Revista de Biología*, 24(1): 1-10.

2008. *Revista de Biología*, 25(1): 1-10.

2009. *Revista de Biología*, 26(1): 1-10.

2010. *Revista de Biología*, 27(1): 1-10.

2011. *Revista de Biología*, 28(1): 1-10.

2012. *Revista de Biología*, 29(1): 1-10.

2013. *Revista de Biología*, 30(1): 1-10.

2014. *Revista de Biología*, 31(1): 1-10.

2015. *Revista de Biología*, 32(1): 1-10.

2016. *Revista de Biología*, 33(1): 1-10.

2017. *Revista de Biología*, 34(1): 1-10.

2018. *Revista de Biología*, 35(1): 1-10.

2019. *Revista de Biología*, 36(1): 1-10.

2020. *Revista de Biología*, 37(1): 1-10.

2021. *Revista de Biología*, 38(1): 1-10.

2022. *Revista de Biología*, 39(1): 1-10.

2023. *Revista de Biología*, 40(1): 1-10.

2024. *Revista de Biología*, 41(1): 1-10.

2025. *Revista de Biología*, 42(1): 1-10.

2026. *Revista de Biología*, 43(1): 1-10.

2027. *Revista de Biología*, 44(1): 1-10.

2028. *Revista de Biología*, 45(1): 1-10.

2029. *Revista de Biología*, 46(1): 1-10.

2030. *Revista de Biología*, 47(1): 1-10.

2031. *Revista de Biología*, 48(1): 1-10.

2032. *Revista de Biología*, 49(1): 1-10.

2033. *Revista de Biología*, 50(1): 1-10.

2034. *Revista de Biología*, 51(1): 1-10.

2035. *Revista de Biología*, 52(1): 1-10.

2036. *Revista de Biología*, 53(1): 1-10.

2037. *Revista de Biología*, 54(1): 1-10.

2038. *Revista de Biología*, 55(1): 1-10.

2039. *Revista de Biología*, 56(1): 1-10.

2040. *Revista de Biología*, 57(1): 1-10.