

# CAPITULO 15

## DEL RUMEN A LA UBRE

*Carlos Tamayo Patiño, MV, Esp.*

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. (ctam@agronica.udea.edu.co)

El bovino lechero, en los últimos años, ha estado sometido a mejoras genéticas para obtener de él altos rendimientos en calidad y cantidad, dando respuesta, de esta manera, a las mayores exigencias del consumidor. Pero no es sólo la genética la que hace su aporte, igualmente, es necesario acompañarla de unas buenas prácticas de manejo; entre éstas la nutricional. La vaca necesita una alimentación balanceada para que su sistema digestivo procese y produzca nutrientes que van a ser utilizados en la glándula mamaria.

Las raciones deben contener (3):

- Proteína: 15 – 18%
- Carbohidratos (CHOS) solubles, almidón y azúcares, entre 30 – 35%
- Fibra detergente neutra: 25 – 45%
- Grasa: 4 – 7%
- Cenizas: 8 – 10%

### 1. APARATO DIGESTIVO DEL RUMIANTE

Los rumiantes, entre ellos los bovinos, son animales que consumen forrajes, pastos y malezas, como fuente de nutrientes para su mantenimiento, y para el sostenimien-

to de su descendencia. Entre las características del sistema digestivo bovino está el tener un estómago dividido en 4 compartimientos, 2 anteriores y 2 posteriores; los primeros son el retículo y el rumen; los segundos incluyen el omaso y el abomaso o estómago verdadero (6). El sector anterior es el que realiza los procesos de acumulación, estratificación y transformación del material alimenticio, que los poligástricos ingieren para producir unas sustancias útiles y otras de deshecho.

El metabolismo y la absorción de nutrientes se realiza por medio de mecanismos que los rumiantes han desarrollado por millones de años; una flora (bacterias y hongos) y una fauna (protozoos) que digieren los alimentos ingeridos por medio de enzimas. También han desarrollado propiedades de absorción en la mucosa por medio de papilas. El sector anterior del estómago bovino se asemeja a un laboratorio, tanto microbiológico como bioquímico, donde interactúan la fauna, la flora, y las enzimas producidas por todos ellos, con el material alimenticio dispuesto en estratos dentro del rumen; el alimento se puede considerar, entonces, como un medio de cultivo de bacterias, hongos y protozoarios.

Las bacterias ruminales, tanto gram positivas (G+) como gram negativas (G-), pueden ser clasificadas en: celulolíticas, que producen celulasas como enzimas para atacar la pared celular de las plantas; proteolíticas, que atacan la proteína por medio de proteasas; amilolíticas, que metabolizan los carbohidratos solubles (CHOS solubles), almidones y azúcares, por medio de las amilasas; utilizadoras de lactato, que convierte el ácido láctico en propionato, lo cual merma el impacto sobre la caída del pH; metanógenas, que reducen el gas carbónico (CO<sub>2</sub>), formando metano (CH<sub>4</sub>), condición que evita, igualmente, la caída del pH ruminal al utilizar los hidrogeniones (H<sup>+</sup>), directos responsables de la formación de los ácidos. Se encuentra también en el rumen flora lipolítica, que desdobra los lípidos de los pastos y suplementos alimenticios por medio de las lipasas (12).

El trabajo de la flora y la fauna es conjunto: primero atacan los hongos, rompiendo la pared celular, permitiendo que actúen las bacterias; por último, los protozoos, que ingieren y metabolizan nutrientes cuando éstos están en exceso; además, ingieren bacterias, controlando el número de éstas cuando hay desbalances de nutrientes. Puede apreciarse, entonces, un nicho ecológico con características de simbiosis, cooperación, mutualismo, sinergismo y parasitismo, que, además, cumple con el proceso ecológico de entrada de sustratos, transformación de ellos y salida de productos finales.

La especialización de la fauna (ciliados y flagelados) y de la flora se da por el tipo de dieta que el animal reciba. Si el rumiante basa su dieta en alimentación rica en proteína, como son los pastos altamente fertilizados, además de suplementos concentrados altos en proteína, predominarán las bacterias proteolíticas; si son altos los CHOS solubles en la dieta, será alta la flora amilolítica; por el contrario, si el predominio en la alimentación es de la fibra, principalmente la fibra detergente neutra efectiva (FDN<sub>e</sub>), se desarrollarán la flora celulolítica y los hongos, permitiendo también la multiplicación de los protozoos. Esto demuestra la importancia de la FDN<sub>e</sub> en el funcionamiento del rumen al hacer parte del estrato sólido, llamado colchón del forraje o puente del forraje, necesario, igualmente, para la actividad física de la panza al estimular sus movimientos; además, de proveer material para el proceso de la rumia y generación de saliva.

La situación ideal es balancear la dieta con fibra, proteína y CHOS solubles (1) en alimentos y suplementos, para

obtener una buena interacción de microorganismos. Con esto se logra que:

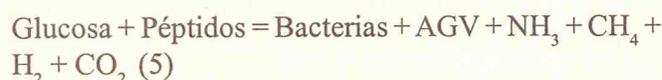
- El 70% de la flora se encuentre en el estrato sólido del rumen, el 25% en la fase líquida y el 5% en la pared ruminal.
- Las condiciones físico-químicas sean las adecuadas para el correcto funcionamiento del rumen, que según Theodorou y France, citados por Forbes y France (8), son: pH (normal entre 6-7), osmolaridad (240-300 mOsm), temperatura (38-42 °C), capacidad (100-300 litros) y un medio reductor por excelencia (potencial de oxido-reducción entre -300 y -350 mV).

En el trabajo de metabolizar lo que aporta la dieta por medio de la *fermentación ruminal*, se nota la importancia de la microbiota y su especialización, donde unas bacterias atacan un sustrato para obtener la energía (E°) por ellas requerida, liberando sustancias de desecho que son aprovechadas por otras, y así, en cadena, van realizando un trabajo en comunidad para mutuo beneficio, generando los nutrientes que son aprovechados por el bovino en el abomaso, en el intestino delgado (ID) y en el hígado.

Cuando hay condiciones no deseadas en el medio ruminal, las bacterias no desaparecen totalmente, sino que se adaptan para sobrevivir; esta adaptación la realizan atacando sustratos a los cuales no están acostumbradas. Cuando se normaliza la función del rumen, las bacterias vuelven a desempeñar sus funciones naturales.

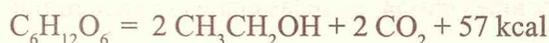
### 1.1 Productos formados en la fermentación ruminal

El proceso metabólico de *fermentación ruminal*, realizado por la fauna y flora del sector gástrico anterior del sistema digestivo del bovino, según Cunningham (5) y Van Soest (18), ocurre de la siguiente forma:



En las dos ecuaciones se puede observar cómo unos productos se reducen y otros se oxidan. Perfectamente se puede notar cómo la fermentación es un proceso de oxidorreducción (redox). Se reporta cómo la glucosa se reduce y oxida, formando etanol (forma reducida) y CO<sub>2</sub>

(forma oxidada), con liberación de energía medida en kilocalorías (kcal), como se observa en la siguiente ecuación:



Glucosa                      etanol

Estas ecuaciones también dan idea de la producción para beneficio del hospedero: proteína bacteriana, ácidos grasos volátiles (AGV) y ciertos productos no aprovechables, entre los cuales se encuentran los gases metano ( $CH_4$ ), carbónico ( $CO_2$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ); además, se generan otros productos no reportados en las ecuaciones, que pueden ser tóxicos para el organismo animal.

Tomando como punto de partida un medio ambiente ruminal en condiciones adecuadas, se detallan, a continuación, los productos formados, partiendo del trabajo bacterial sobre los sustratos aportados con la ración.

Las bacterias proteolíticas atacan aminoácidos, péptidos, proteína, nitrógeno no proteico (NNP) y úrea de la saliva en casos de deficiencia de elementos nitrogenados, para obtener su propia energía, y liberan como producto de deshecho  $NH_3$ ; según Russell et al y Chen y Russell, citados por Forbes (8), las bacterias G<sup>+</sup> lo producen hasta 20 veces más rápido.

Las amilolíticas desdoblan los CHOS solubles, obteniendo E° en forma de ATP para su multiplicación y crecimiento, liberando glucosa como producto final.

Las bacterias celulolíticas aprovechan el  $NH_3$  y la glucosa para la multiplicación de nuevas generaciones bacterianas, que pasan al abomaso y al intestino delgado (ID) como proteína bacterial; allí, las enzimas producidas por el abomaso y el intestino desdoblan la proteína en aminoácidos y péptidos que son absorbidos, y por la circulación llegan al hígado, donde se forma la proteína aprovechable por el animal hospedero; además, desde acá se reparte a los diferentes sistemas orgánicos, incluyendo la glándula mamaria, donde se forma la proteína láctea.

Las bacterias lipolíticas atacan los lípidos de la ración para generar ácidos grasos libres en rumen, que inmediatamente son biohidrogenados para reducir los dobles enlaces, y así evitar los efectos tóxicos sobre la flora ruminal. Ellas producen muy poca cantidad de ácidos grasos volátiles y poco  $CO_2$ ; son importantes porque fermentan el

glicerol hacia ácido propiónico. Los ácidos grasos libres producidos en rumen, siguen hacia el intestino delgado (12).

Cuando la dieta está desbalanceada, principalmente por deficiencia de  $FDN_e$ , con excesos de CHOS solubles y NNP, se genera incremento exagerado de glucosa y de  $NH_3$ , que son absorbidos y transportados al hígado.

La concentración normal de los AGV, según France y Siddons, citados por Forbes (8), está entre 70 y 130 mM, y la proporción molar es 70% de ácido acético, 20% de ácido propiónico y 10% de ácido butírico; las condiciones ideales de la panza, que se requieren para obtener estas cifras, se dan cuando la proporción de materia seca (MS) del forraje de buena digestibilidad, es mayor que la del suplemento concentrado. Cuando la proporción se altera a favor de la MS del concentrado, el propiónico puede llegar hasta el 30% y el acético al 60%, a pesar de lo cual el ácido acético sigue predominando en la concentración total de AGV (5).

Para McCullough (15), la función de los AGV producidos en la fermentación ruminal es la siguiente:

- Ácido acético, fuente de energía como grasa corporal y láctea
- Ácido propiónico, fuente de energía como glucosa (gluconeogénico), como grasa corporal
- Ácido butírico, fuente de energía en la pared ruminal; Aristizábal (1) lo reporta también como fuente de grasa butirosa en leche.

Según McCullough (14), el ácido acético es el responsable de la producción total de leche durante la lactancia completa; el ácido propiónico (gluconeogénico) es importante en la producción de glucosa, y su posterior transformación en lactosa en los primeros días de lactancia, y particularmente durante el pico de producción.

En el metabolismo ruminal, también se forman ácidos grasos ramificados: isobutírico, isovalérico y el 2-metilbutírico, que son aprovechados como fuente de energía por la flora celulolítica (10), facilitando la digestión de la celulosa, e importante para la formación de los AGV y de proteína.

Por todo lo anterior, se considera el rumen principalmente como una fábrica, donde se trabaja en forma coordinada, para así obtener productos finales. En los cuadros

siguientes, se muestra un síntesis del metabolismo de nutrientes para la producción de la leche.

## 2. GLÁNDULA MAMARIA

La ubre del bovino se localiza a nivel inguinal, en la región comprendida entre el piso de la pelvis y la articulación del corvejón, más específicamente entre los miembros posteriores. Consta de cuatro unidades independientes, cada una de las cuales termina en su pezón correspondiente, albergando la cisterna del pezón, que está comunicada con la de la ubre. Estas cámaras recogen la leche procedente de la unidad formadora, que es el alvéolo; la leche alcanza la cisterna glandular por medio de los conductos galactóforos, y se excreta al exterior por medio del conducto excretor del pezón.

Los alvéolos son los componentes básicos del tejido secretor; están constituidos por una sola capa de células epiteliales, que son las únicas que sintetizan leche. Éstas tienen funciones varias, entre las cuales se encuentran (16):

- Degradan substratos que proporcionan energía para la síntesis de leche
- Sintetizan sustancias de la leche que no llegan por sangre, como grasa, lactosa y la mayoría de las proteínas.
- Regulan la composición de la leche, por medio del control de constituyentes no sintetizados en la mama, como agua, vitaminas y minerales.

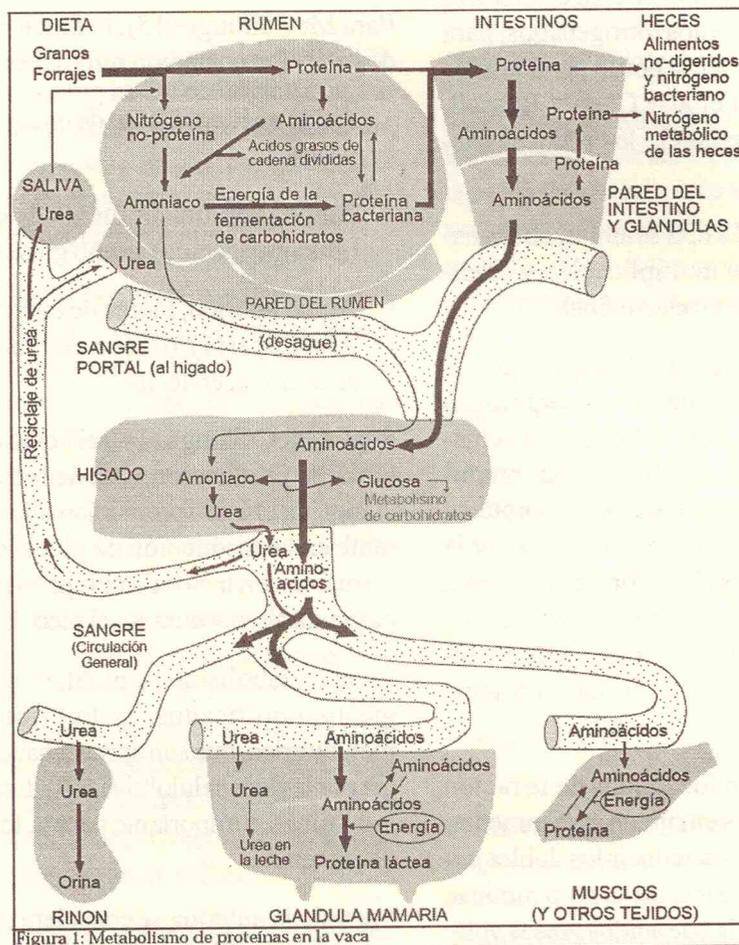


Figura 1: Metabolismo de proteínas en la vaca

Fuente: Instituto Babcock

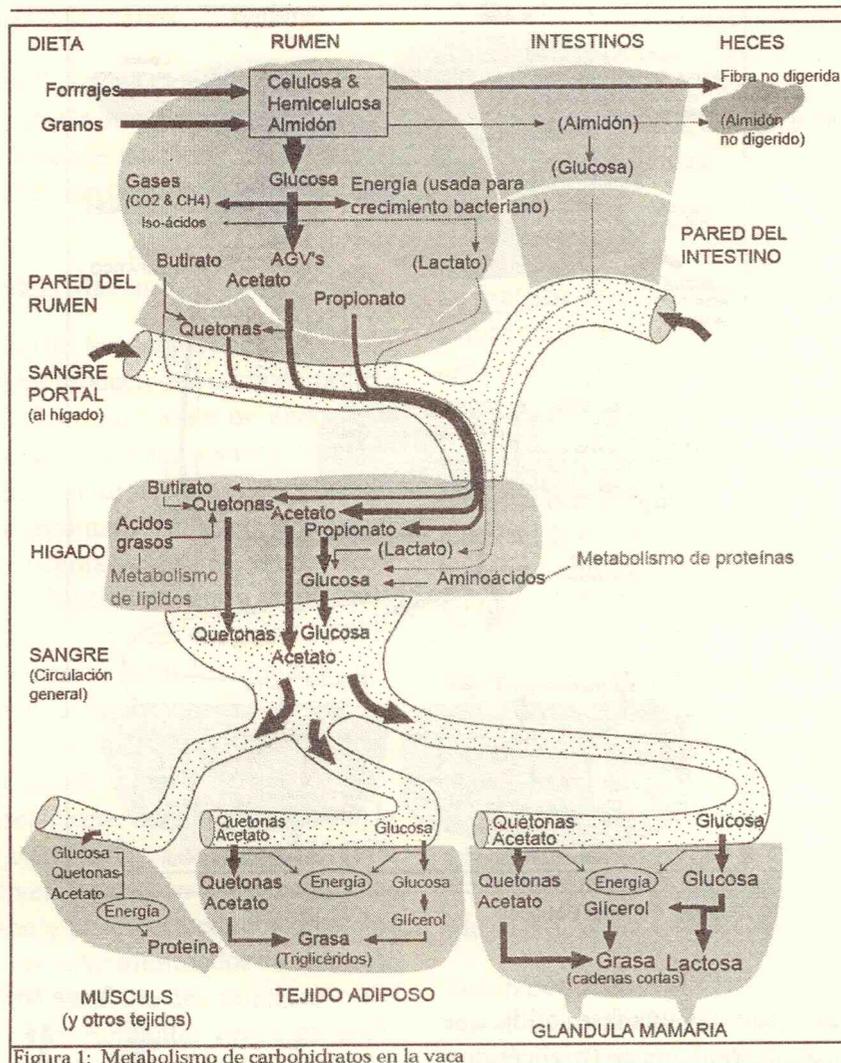


Figura 1: Metabolismo de carbohidratos en la vaca

Fuente: Instituto Babcock

Las células epiteliales utilizan energía en forma de ATP, proveniente de la glucosa y del acetato; además, en los procesos de síntesis láctea, principalmente los que tienen que ver con la formación de triglicéridos, lactosa y proteínas (16).

La gran mayoría de los precursores utilizados en la síntesis de la leche, provienen de la sangre, ingresan al espacio extracelular de la ubre, entre la célula epitelial y el vaso sanguíneo; desde este lugar son tomados hacia el interior de la célula epitelial (7). Algunos no son importantes en la composición de la leche. Los de mayor trascendencia son la glucosa, el acetato, el  $\alpha$ -hidroxibutirato, los ácidos grasos de los triglicéridos y las proteínas (7). Nótese como todos provienen de la fermentación ruminal, cuyas rutas son:

- Fibra → acetato → colesterol → grasa en hígado → grasa en glándula mamaria
- CHOS solubles → butirato →  $\beta$ -hidroxibutirato en hígado → grasa butirosa en leche
- CHOS solubles → propiónico → glucosa en hígado → glucosa en sangre → lactosa en leche
- Proteína de la ración → proteína bacteriana → aminoácidos en hígado → proteína sanguínea → proteína en leche

## 2.1 Leche

Se produce en una glándula sudorípara modificada de la hembra, y se define como producto fisiológico de la glándula mamaria (9,16) para la nutrición de su prole. Consi-

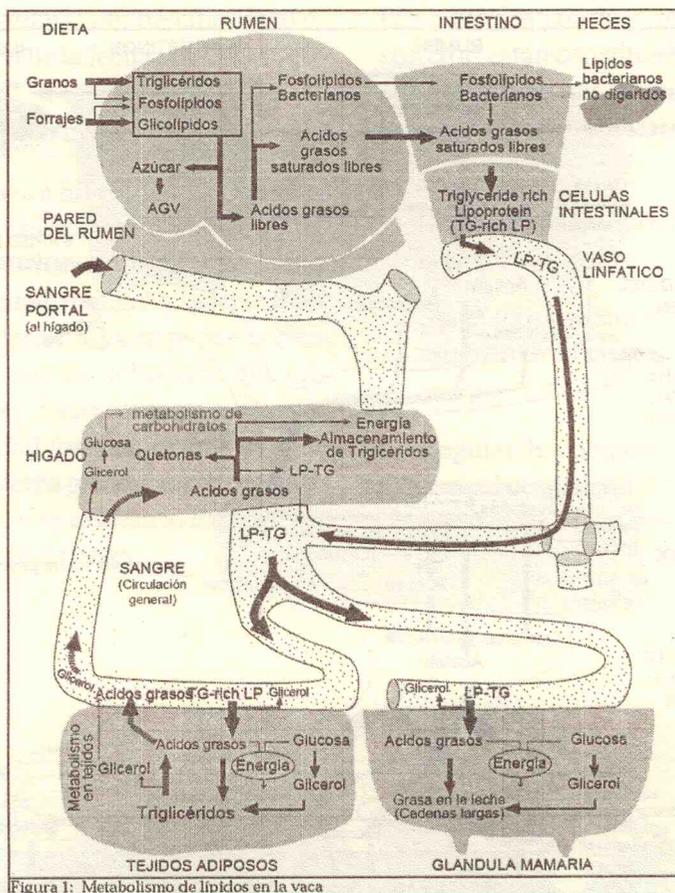


Figura 1: Metabolismo de lípidos en la vaca

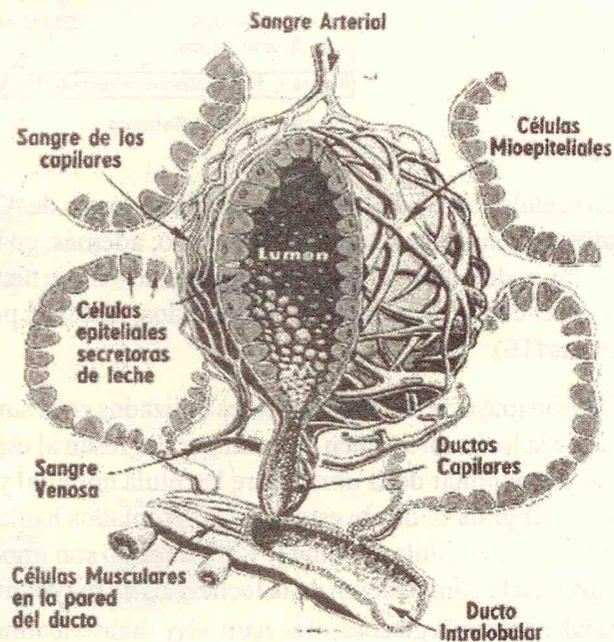
Fuente: Instituto Babcock

tuida por una fase acuosa (suero) y una fase sólida, que es la que contiene: azúcar (lactosa); grasas (triglicéridos, fosfolípidos, colesterol y ácidos grasos libres); proteínas (caseína,  $\alpha$ -lactoalbúmina,  $\beta$ -lactoglobulina, albúmina sérica e inmunoglobulinas); vitaminas y minerales (9).

La composición láctea, que define su calidad, tiene tres componentes básicos: lactosa, caseína y grasa (16). Estos metabolitos varían en su concentración con la raza; además, numerosos factores ambientales, genéticos y fisiológicos la afectan. En general, la composición de la leche es como sigue:

Raza	Grasa	Proteína	Lactosa	SNG	ST
Ayrshire	3.90	3.30	4.60	8.60	12.50
Pardo Suizo	4.0	3.50	4.80		13.0
Guernsey	4.60	3.60	4.80	9.20	13.80
Holstein	3.60	3.15	4.60	8.50	12.0
Jersey	4.80	3.80	4.80	9.40	14.20

\*SNG = sólidos no grasos. \*ST = sólidos totales  
Fuente: Campabadall Carlos (4)



Formación de la leche

## 2.2 Formación de la leche

Para la síntesis de leche de buena calidad, se requiere una relación apropiada entre la dieta, el rumen, el hígado y la glándula mamaria. Si se afectan todos o cada uno de estos componentes, se alterarán la formación y la calidad de la leche.

### Rumen - Hígado - Glándula Mamaria

El hígado es el encargado de formar proteína a partir de los aminoácidos y péptidos producidos a partir de proteína bacteriana; los AGV como fuente de energía, y detoxifica el organismo de productos nocivos. Es claro que la función metabólica del rumen, el hígado y la ubre es de una actividad extraordinaria; también, están muy interconectados por el sistema sanguíneo, el cual lleva nutrientes del rumen al hígado, y de éste a la glándula mamaria. Estos aspectos no se tienen en cuenta cuando se interpretan las concentraciones de los componentes lácteos por parte de los industriales y, lo que es peor, los profesionales del sector no los analizan con profundidad. Por no mencionar el análisis de la ración, ya que los veterinarios son reacios a relacionar la alimentación con la salud y la producción, como lo dice Sommer, 1975 (17): “Los ganaderos raras veces conocen la estrecha relación entre alimentación y las enfermedades. Pero los veterinarios, que deberían estar informados de ello, sólo se ocupan con desgano del cálculo de una relación alimenticia adecuada para los rumiantes y para su rendimiento.”

## 2.3 Lactosa

La glucosa entra a la célula epitelial por medio de un mecanismo de transporte específico; al interior, parte de la glucosa se convierte en galactosa. Los dos azúcares entran al aparato de Golgi, donde forman lactosa, que atrae agua hacia la célula, formándose así la leche (7). La glucosa es estrictamente necesaria en la glándula mamaria para la síntesis de la leche, y no puede ser remplazada por otro azúcar.

En rumiantes, cerca del 45 – 60% de la glucosa sanguínea es sintetizada por gluconeogénesis en el hígado, a partir del ácido propiónico. Cuando hay deficiencia de E la glucosa se produce a partir de reservas corporales, como músculo y tejido graso; los aminoácidos y los ácidos grasos de estos tejidos sufren gluconeogénesis en el hígado; también el riñón metaboliza proteínas musculares

(7). Kleiber et al., citados por Schmidt (16), reportan que el acetato y el lactato, igualmente, pueden ser fuente de lactosa a través de la gluconeogénesis hepática. Las vacas sintetizan lactosa, usando el 60 – 70% de la glucosa que llega a la glándula (7).

## 2.4 Proteína

La proteína, en la glándula mamaria, es importante para la formación de la lactosa, es fundamental para la nutrición y salud del recién nacido, así como para la transformación de la leche en quesos y otros productos.

Para que la leche tenga una buena concentración de proteína, se requiere que la dieta del bovino aporte buena cantidad de energía, para una óptima replicación de células bacteriales, y, por consiguiente, se forme una excelente proteína, tanto en calidad como en cantidad.

La caseína, la  $\beta$ -lactoglobulina y la  $\alpha$ -lactoalbúmina, constituyen el 95% de la proteína de la leche; las tres son sintetizadas en la ubre a partir de péptidos, proteínas plasmáticas y aminoácidos libres; éstos últimos aportan la mayor cantidad del nitrógeno para la síntesis de la proteína. Otras proteínas que se encuentran en la leche, como la seroalbúmina, las inmunoglobulinas y la caseína son filtradas desde la sangre a la glándula (16).

Según Bequette et al. (2), las proteínas más importantes que se forman en la glándula mamaria, son:

- Caseínas:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$ . Desde el punto de vista industrial, la kappa caseína es la más importante para formar el coágulo.
- Proteínas del suero lácteo:  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactoalbúmina y proteosa-peptona.
- Proteínas como seroalbúmina sanguínea y las inmunoglobulinas, que entran a la leche por vía transcelular.

La síntesis proteica, dentro de la célula epitelial, es controlada por genes, es decir, la composición química de algunos de los componentes de la fracción proteica de la leche, está determinada por la constitución genética de los animales productores (16).

Las proteínas dentro de la célula, mejor los aminoácidos, son conjugados en los polirribosomas del retículo endoplásmico rugoso del aparato de Golgi, donde se for-

man nuevas proteínas. Éstas incluyen las que van a ser secretadas – caseína,  $\alpha$ -lactoalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulina, las unidas a la membrana, tales como las involucradas en el contacto de célula a célula, y, por último, enzimas unidas a membranas. La secreción de proteínas se realiza por medio de vesículas secretoras externas al aparato de Golgi, las cuales son descargadas en la luz alveolar (7), en forma de partículas coloidales, llamadas micelas de caseína. Las micelas son formadas en Golgi por la unión de moléculas de caseína con calcio y fósforo.

La deficiencia de proteína desencadena una baja producción de leche. Este fenómeno se puede explicar porque hay una baja producción de la enzima lactato sintetasa, que está compuesta por dos proteínas (7,16): la proteína A o galactosiltransferasa (GT) y la proteína B o  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -LA). Al contrario un aumento en la suplementación proteica conlleva a un aumento en el contenido proteico de la leche, así como un aumento en la producción (2), por la mayor formación de lactosa a través de la lactato sintetasa.

## 2.5 Grasa

La grasa de la leche en un 98% está compuesta por triglicéridos (triacilglicéridos), que son sintetizados en la célula epitelial; el resto la constituyen otros lípidos como: diacilglicéridos, monoglicéridos, fosfolípidos, colesterol, glicolípidos y ácidos grasos libres. Desde el punto de vista del número de carbonos, se clasifican como (7):

- De cadena corta: C4:0 – C6:0 - C8:0
- De cadena media: C10:0 – C12:0 – C14:0
- De cadena larga: C16:0 – C18:0 – C18:1 – C18:2 – C18:3

Para Schmidt (16), los ácidos grasos de cadena corta son los comprendidos entre C4:0 y C14:0, es decir, los menores de 16 carbonos.

La fuente de los triglicéridos proviene de los lípidos sanguíneo, y también se sintetizan *de novo* en el epitelio de la glándula. La grasa de la sangre se deriva de la lipoproteína de baja densidad (VLDL), sintetizada en hígado e intestino delgado. Las VLDL se hidrolizan por medio de la enzima lipoproteína lipasa (LPL) en los capilares de la glándula mamaria (7). Los ácidos grasos de la VLDL y los quilomicrones, dependen de la grasa de la

dieta y de la movilización del tejido adiposo; los ácidos grasos de cadena larga se originan por esta vía. La síntesis *de novo* (síntesis de nuevas moléculas de ácidos grasos desde precursores provenientes de la sangre), ocurre en el citoplasma celular; los principales componentes de esta síntesis, son el acetato y el  $\beta$ -hidroxibutirato, origen de los ácidos grasos de cadena corta (7).

La glucosa es una limitante para la síntesis de grasa láctea en rumiantes, por carecer de la enzima citrato liasa (7). Ella es importante en la formación del glicerol que es fuente de grasa.

Para la formación de la grasa láctea, la célula epitelial toma de la sangre acetato y  $\beta$ -hidroxibutírico como precursores de la síntesis de ácidos grasos en la ubre; además, se absorben ácidos grasos preformados, glicerol y monoacilglicéridos. Todos estos compuestos entran en la formación de triglicéridos de la leche, que se sintetizan en el retículo endoplásmico liso, originando pequeñas gotas. Varias gotas se unen para salir del interior celular hacia la luz alveolar, como gotas de mayor tamaño (7).

## 2.6 Componentes Varios

Otros componentes, como el agua y los iones, entran por medio de estrechas uniones entre las membranas celulares, aspecto que se llama vía paracelular. Esta vía es la que permite el paso de lactosa y potasio desde el alvéolo al espacio extracelular de sodio y cloro, desde el exterior hacia el interior de la célula; esto último en casos de mastitis, durante la involución de la glándula mamaria y la eyección de la leche provocada por la oxitocina. En inflamaciones por mastitis se originan cambios en la conductividad eléctrica, lo cual puede usarse como método para el diagnóstico. Todo lo anterior permite que la lactosa, como otros componentes de leche, alcance la sangre (7).

Con respecto a los minerales, cuyo contenido es muy amplio en la leche, sólo dos son importantes desde el punto de vista nutricional; ellos son calcio y fósforo. De todas maneras, el contenido mineral lácteo es muy estable; únicamente se observan cambios sustanciales en los electrolitos, en casos de alteraciones mamarias, o por el estado de la lactancia (11).

En resumen, el trabajo metabólico del rumiante, principalmente en el bovino, es muy exigente, para poder cumplir todas las funciones. El metabolismo del sistema di-

gestivo, para el autor, gobierna todo el funcionamiento del organismo bovino; esto es más marcado en el ganado lechero, altamente especializado. Esto significa interrelacionar que el digestivo, pasando por el hígado, el tejido sanguíneo y la glándula mamaria están fuertemente interrelacionados, como lo enuncia Lerche (13) en el siguiente párrafo:

“La glándula mamaria tiene que efectuar regularmente un trabajo intenso y muy delicado, gobernado en sus aspectos sanguíneo y nervioso por sistemas fermentativos. Por ello no debe extrañar que la mama reaccione inmediatamente ante los trastornos orgánicos con una alteración en la secreción láctea. Casi todas las enfermedades de los órganos repercuten sobre los caracteres de la leche”.

### 3. BIBLIOGRAFÍA

1. Aristizábal V., Jaime. La Proteína Parte I. En: Despertar Lechero. N° 16 (1998). p. 9-20
2. Bequette, B. J. et al. Current Concepts of Amino Acids and Protein Metabolism in the Mammary Gland of the Lactating Ruminant. En: Journal of Dairy Science. Vol. 81, N° 9 (1998). p. 2540-2559
3. Calsamiglia, Sergio. Nuevas Bases para la Utilización de la Fibra en Dietas de Rumiantes. En: XIII Curso De Especialización FEDNA. Madrid, 6 y 7 de noviembre (1997).
4. Campabadall, Carlos. Factores que afectan el contenido de sólidos de la leche. En: Competitividad y Proteína / II Seminario Internacional sobre Calidad de la Leche. Medellín, 1999. p. 91 - 111
5. Cunningham, J. C. Fisiología Veterinaria. México: Interamericana, 1997. 763 p.
6. Dyce, K. M.; Sack, W. O.; Wensing, C. J. G. Anatomía Veterinaria. 2ª ed. México: McGraw- Hill, 1999. 952 p.
7. Evers, Jaap. et al.  
<http://classes.aces.uiuc.edu/AnSci308/Milkcompsynth/compsynthresources.html> Consulta: 15 de marzo de 2007.
8. Forbes, J. M.; France, J. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. Cambridge: University Press, 1993. 515 p.
9. Prieto Ocejo, Dolores. Fisiología de la Lactación. En: Fisiología Veterinaria. García Sacristán, A. 1ª ed. Madrid : McGraw Hill – Interamericana, 1995. 1074 p.
10. Hoover, William H.; Miller, Tammy K. Rumen Digestive Physiology and Microbial Ecology. En: The Veterinary Clinics of North America- Food Animal Practice. Vol. 7, N° 2 (1991); p. 311-325
11. Hurley, W. L. Lactation Biology. University Press, University of Illinois. Urbana – Champaign, 2000
12. Jenkins, T. C. Symposium: Advances in Ruminant Lipid Metabolism. En: Journal of Dairy Science. Vol. 76, N° 12 (1993). p. 3851-3863
13. Lerche, M. Inspección veterinaria de la leche. Zaragoza: Acribia, 1969. 375 p
14. McCullough, Marshall E. Alimentación Práctica de la vaca lechera. 1ª ed. Barcelona: Aedos, 1971. 208 p.
15. McCullough, Marshall E Feeding Dairy Cows - the how and why of feed programming. En: Hoard's Dairyman. (1986); p. 3-74
16. Schmidt, G. H. Biología de la Lactación. Zaragoza : Acribia, 1971. 307 p
17. Sommer, H. Medicina preventiva en vacas lecheras. En: Noticias Médico – Veterinarias. N° ½, (1975); p. 42-63
18. Van Soest, Peter J. Nutritional ecology of the ruminant. 2ª ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. p. 476.

