

EL ALIMENTO Y LOS PROCESOS DIGESTIVOS EN EL RUMEN

Ing. Zoot. María del Rosario Blanco. 1999.

Supervisión: Med. Vet. Oscar E. Rivera

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Fisiología digestiva y manejo del alimento](#)

INTRODUCCIÓN

La producción animal depende de factores exógenos (dieta, clima, etc.) y endógenos (aspectos fisiológicos y metabólicos). Los procesos que ocurren en el ambiente ruminal, generan más del 60 % de la energía (ácidos grasos volátiles: AGV) que el animal utilizará para mantenimiento y producción, y entre el 60 al 80 % de la proteína necesaria para el crecimiento y producción, la cual es sintetizada en el rumen por los microorganismos (Santini, 1995). Por lo tanto, de la extensión y digestión de los distintos componentes del alimento a nivel ruminal, dependerá la futura producción animal (leche, carne, o lana). Motivo por el cual, en la medida en que se mejoren los procesos de la digestión de los alimentos, se mejorará sustancialmente la producción animal y con ella, la productividad del sistema ganadero.

Todo alimento (forraje o concentrado) está constituido por distintas fracciones: los carbohidratos, las proteínas, los lípidos, vitaminas, minerales y agua. De los componentes mencionados se describirán a continuación los tres primeros, ya que de la digestión y metabolización de ellos dependerá la futura producción del animal.

CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos se dividen en dos grandes grupos: estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina) y no estructurales (almidón, carbohidratos solubles, etc.).

CELULOSA:

Está constituida por microfibrillas cristalinas, lineares y de alto peso molecular, formando polímeros de moléculas de D-Glucosa, cuya digestibilidad puede ser muy alta (cerca del 90 %) dependiendo de su grado de lignificación (Van Soest, 1982, Beever, 1993) La disponibilidad de la celulosa para los organismos celulolíticos varía de acuerdo al nivel de lignificación y el ambiente ruminal generado por la dieta, siendo el rumen el principal sitio de digestión con un 80-85% de la cantidad degradada en todo el tracto. La celulosa digestible que puede ser fermentada en el ciego y colon varía de un mínimo de un 5 % a un máximo de un 29 % (Beever y col. 1972) dependiendo del tipo de forraje, procesamiento, nivel de consumo, y tipo y nivel de suplementación. La fermentación de este compuesto químico lleva a la formación de ácidos grasos volátiles (AGV).

HEMICELULOSA:

Es otro componente de la pared celular del vegetal, está constituida por cadenas de xilano unidas a moléculas de glucosa, fructosa, galactosa y arabinosa. Este complejo químico no es soluble en agua y constituye entre el 30 al 40 % del total de los hidratos de carbono totales (Dehorty, 1973)

La degradación de la hemicelulosa por los microorganismos del rumen varía con el tipo y estado de madurez del forraje, forma de conservación y nivel de consumo. La digestibilidad en rumen varía entre un 52 y un 84 % y en ciego y colon entre 9 y 45 % (Beever y col. 1972)

PECTINA:

Representa menos del 10% de los constituyentes de la pared celular, es totalmente digestible, y está formada por cadenas ramificadas de ác. galacturónico.

LIGNINA:

Es un polímero compuesto de unidades de fenil propano de estructura muy compleja y de alto peso molecular. Es indigestible y altamente resistente a la mayoría de los agentes químicos. Su contenido aumenta con la edad del forraje y puede alcanzar el 15 % de la materia seca (MS). Está altamente asociada a los componentes de la pared celular, como la celulosa, hemicelulosa y con ciertas proteínas. De su proporción dependerá la digestibilidad de la pared celular.

Las leguminosas se caracterizan por tener mayor proporción de lignina que las gramíneas (Fernández Mayer, 1998) Los microorganismos que atacan la lignina son aeróbicos, siendo el ambiente ruminal eminentemente anaeróbico.

robio. Por lo tanto la fermentación de la lignina es extremadamente baja, y su presencia constituye una especie de barrera física para la fermentación microbiana de la celulosa y hemicelulosa.

ALMIDÓN:

Es el principal constituyente del endosperma de los granos, variando su proporción de acuerdo al tipo de grano y a otros factores intrínsecos de la planta. Químicamente está formado por dos tipos de polímeros, la amilosa y amilopectina. La primera constituye un 20-30 % del almidón de los cereales, caracterizándose por tener una estructura amorfa, sin restricciones al paso del agua y a la amilasa. Es un polímero lineal de D-Glucosa con enlaces glucosídicos alfa 1-4. Mientras que la amilopectina, constituye el 70-80 % del almidón de los granos, es un polímero ramificado, con cadenas lineales de unos 20-25 residuos de D-Glucosa en uniones alfa 1-4 y puntos de ramificación con enlaces alfa 1-6. Representa la porción cristalina resistente al paso del agua y al ataque enzimático (Kloster y Santini, 1995) El almidón puede ser degradado tanto a nivel ruminal transformándolo en AGV o en el intestino delgado por acción de las enzimas del animal, siendo el producto absorbido, glucosa. El sitio de digestión del almidón varía en función del tipo de almidón, proporción en la dieta, nivel de consumo, edad del animal, etc. (Armstrong y Smithard, 1979).

CARBOHIDRATOS SOLUBLES:

Están integrados por azúcares simples, cuya degradabilidad a nivel ruminal es del 100 %, generando AGV, con mayor proporción molar de propionato.

METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

La degradación y fermentación de polisacáridos (hidratos de carbono complejos) en el rumen ocurre esencialmente en tres pasos:

- ◆ Fijación de los microorganismos a las partículas del forraje, provocando la disociación de los hidratos de carbono de la estructura de la matriz celular.
- ◆ Hidrólisis de los polisacáridos liberados, a sacáridos
- ◆ Fermentación intracelular de los sacáridos, obteniéndose AGV. De la fermentación intracelular de las hexosas y pentosas se obtienen principalmente piruvato y fosfoenolpiruvato. Sobre los que actúan los microorganismos y los transforman en distintos productos finales de la fermentación ruminal a través de distintas vías metabólicas (Leng 1973).

El etanol, succinato, y lactato son catabolizados a productos finales: acético, propiónico y butírico por las distintas especies de microorganismos (Santini, 1994).

El ác. acético es transportado desde el rumen por el torrente circulatorio e incorporado directamente al protoplasma celular. Su utilización puede orientarse posteriormente ya sea hacia la obtención de energía vía acetyl-CoA y ciclo de Krebs, o bien a la síntesis de grasas.

La digestión ruminal del almidón, genera una alta producción de AGV, destacándose el propionato (C3) cuya proporción molar aumenta con respecto a la fermentación ruminal del forraje fibroso, donde se genera una mayor proporción molar de acetato (C2).

El propionato se absorbe por las paredes del rumen (más del 80 %) llegando al hígado, donde a través de un proceso metabólico (gluconeogénesis) se transforma en glucosa. Mientras que el acetato y butirato generan ATP en rumen : ciclo cítrico (Van Huotert, 1993).

La digestibilidad del almidón en el total del tracto, es superior al 80 %, variando de acuerdo al tipo de grano, y al consumo (MS/día), la proporción que se degrada en rumen y la que llega intacta al duodeno. La digestibilidad del almidón varía en orden creciente a partir del maíz, sorgo, cebada, trigo y avena. Por lo tanto la cantidad de almidón que llega al intestino delgado es mayor para maíz y sorgo: 30-40 % (Fernández Mayer, 1998).

A partir de un sustrato se obtienen ácidos grasos volátiles, metano y hay una pérdida de energía en forma de calor de fermentación. Durante la formación de los AGV se liberan diferentes cantidades de H₂, gas que en unión con el CO₂, da origen a la molécula de metano. Este al abandonar el rumen constituye una pérdida adicional de 18 % de la energía inicial del sustrato, o sea una pérdida de energía digestible.

La energía contenida en los carbohidratos de alimentos concentrados (alta producción de ácido propiónico) es mejor aprovechada en el metabolismo ruminal, que aquella contenida en alimentos fibrosos (alta producción de ácido acético). Si bien el rumiante puede aprovechar la celulosa gracias a la fermentación ruminal, el proceso lleva aparejado una considerable pérdida de energía. (Kaufmann, 1976).

Los AGV además de ser una fuente de energía para el rumiante, constituyen importantes productos iniciales en la síntesis de diferentes compuestos orgánicos en el metabolismo intermedio. Por ej. al ác. acético le corresponde un papel primordial en la síntesis de la grasa de la leche, siendo relativamente reducidas las fracciones destinadas a la formación de la caseína y lactosa. En cambio, el ác. propiónico es, el responsable en primer término de la

síntesis de la lactosa. El ácido butírico no muestra carácter específico, siendo utilizado en la síntesis de los tres principales componentes de la leche. Para obtener en la leche un porcentaje graso fisiológicamente normal (superior al 3 %) se necesita una relación ácido acético-ácido propiónico de por lo menos 3:1. Esta relación se obtiene cuando el contenido de fibra bruta constituye alrededor de un 20 % de la materia seca de la ración. Para engorde de animales, y para obtener buenos aumentos de peso diario, la relación molar entre el ácido acético y el propiónico es más estrecha, con una mayor concentración relativa del segundo. Esto se logra con un menor contenido de fibra bruta, lo que permitiría la incorporación de concentrados a la ración.

Cuando se agrega a la ración más de un 30 % de carbohidratos (ej. granos) se puede producir una depresión en la digestibilidad de la fibra (Rearte y Santini, 1989) generando una producción anormal de ácidos grasos insaturados (AGI) en la grasa de cobertura del animal, desmejorando el aspecto de la res (Fernández Mayer, 1998)

La glucosa absorbida en el duodeno, por hidrólisis del almidón o sintetizada en el hígado, es transportada por el plasma sanguíneo a los tejidos del cuerpo. Allí se utiliza como fuente de energía y como precursor de compuestos carbonatados.

Al aumentar los niveles de glucosa en sangre se estimularía la liberación de insulina (páncreas), esta hormona tiene propiedades lipogénicas, por lo tanto influye sobre la terminación del animal.

FACTORES QUE INFLUENCIAN LA UTILIZACIÓN DE HIDRATOS DE CARBONO

La composición de la ración influye sobre el proceso fermentativo del rumen. La interrelación sustrato-pH tiene una importancia fundamental, y de su sincronización dependerá la velocidad de fermentación, como la proporción molar de los ácidos grasos volátiles resultantes.

Fermentación celulolítica y amilolítica. : responde al tipo de dieta, y a su vez a la producción de saliva y al pH que se origina en el medio ruminal.

Una dieta alta en forrajes produce un pH ruminal elevado, ya que induce a una gran actividad en la rumia y alta producción de saliva, promoviendo el crecimiento de bacterias celulolíticas y una fermentación acética. Un alto nivel de concentrado determinará un pH bajo, lo que promoverá una actividad amilolítica con alta producción de ácido propiónico y láctico (Kaufmann, 1976).

La forma física en que se administra el alimento también produce cambios a nivel del pH, que a su vez se traducen en cambios en la proporción de los productos finales de la digestión. El tamaño de la partícula afecta directamente la actividad de la rumia y a la producción de saliva, y por ende modifica la población de microorganismos ruminales.

Otros factores que modifican el pH son cambios en la composición química de los forrajes (ej. aumento de la fibra bruta con la madurez o el contenido de carbohidratos solubles); y otro elemento a tener en cuenta es la frecuencia de alimentación, la que modifica la relación ácido-propiónico y la concentración total de AGV.

Los aditivos también regulan el proceso fermentativo, modificando el tipo, número de bacterias y su actividad; o modificando el pH del rumen.

En producción de carne es importante la capacidad de cambio del tipo de fermentación que generan a nivel ruminal ciertos antibióticos como la monensina (Santini y Di Marco 1983). Actúa en general, favoreciendo el desarrollo de bacterias propionogénicas, disminuyendo en número de protozoarios. Sus efectos se traducen en cambios cuantitativos sustanciales en los productos finales de la digestión ruminal, aunque por lo general por un corto período de tiempo.

Los ionóforos (monensina y lasalocid) mejoran la eficiencia de utilización del pienso, aumentan la proporción molar de propionato, reducen la metanogénesis, e inhiben la proteólisis y la desaminación. Inhiben a las bacterias Gram+ (*R. albus*, *R. flavefaciens* y *B. fibrisolvens*) determinando una selección de bacterias Gram negativas y una selección contra bacterias productoras de H₂ y de metanoato.

El segundo tipo de aditivos que modifican mínimamente el ambiente ruminal, son los buffers, que modifican el pH del rumen. Estos aditivos son usados cuando se suplementa la ración de los animales con cantidades importantes de concentrados, impidiendo de esta forma la caída del pH ruminal, ya que reemplaza al bicarbonato secretado en la saliva.

SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADOS

La provisión de concentrados a animales en pasturas no limitadas en disponibilidad está asociada a una disminución en el consumo del forraje. Y parece ser más manifiesto en forrajes de alta calidad. La sustitución deja un remanente de forraje para lo cual es necesario ajustar la carga animal, para obtener mayor beneficio con el uso de suplementos.

En contraste al efecto directo de proveer energía para el animal, la adición de almidón al forraje podría tener efectos asociativos adversos sobre la dieta basal. La digestibilidad de la fibra (celulosa, hemicelulosa) y proteína

podría decrecer, como también la población bacteriana. Los resultados son variables y dependen del tiempo de adaptación que los animales tengan a la nueva dieta, y de la cantidad de concentrado suplementado.

Pasturas con altos contenidos proteicos pero con bajas concentraciones de carbohidratos solubles son alimentos desbalanceados para el animal. La proteína se degrada en el rumen y el amoníaco no será aprovechado por no contar las bacterias con la energía requerida. Esta situación se da generalmente en los sistemas de invernada en determinadas épocas del año (Elizalde y Santini 1992). Ya son conocidas las bajas ganancias de peso en otoño.

La suplementación con concentrados energéticos permite no solamente aumentar el suministro de nutrientes al animal, sino que permite también balancear energéticamente a las dietas pastoriles.

Los efectos de la suplementación dependerán de la cantidad ofrecida y del balanceado empleado. El suministro de concentrados en niveles que no superen el 40% de la dieta total consumida, no afectará el ambiente ruminal, aunque proveerá de energía que las bacterias utilizarán para un mejor aprovechamiento del amoníaco ruminal (Rearte y col. 1989).

Cantidades mayores de suplementación provocarán mayor sustitución sobre la pastura consumida, afectándose el ambiente ruminal, con consecuencias negativas sobre la digestibilidad del forraje y el consumo de este. El suministro de grano en altas cantidades sólo será factible con una correcta y programada adaptación de los animales, y los descensos de pH originados podrán ser corregidos con sustancias buffer. (Rearte y Elizalde 1994)

PROTEÍNAS

Las proteínas del alimento se dividen en:

- ◆ proteína dietaria verdadera (PDV): degradable y no degradable en el rumen, y
- ◆ nitrógeno no proteico (NNP).

La proporción de ambas depende de factores propios del alimento, del consumo, de la extensión de la digestión y de factores exógenos, como el calor, la presión, el molido, químicos, etc.

El 80 % de las proteínas del maíz, cebada y trigo son glutelinas y prolaminas, ambas insolubles en el líquido ruminal, mientras que en la avena, el 80 % es globulina, que es soluble en dicho licor (Fernández Mayer, 1998) Solo una parte de las proteínas del alimento alcanza el intestino sin ser degradada. El resto sufre un proceso de lisis bacteriana, generalmente de tipo desaminativo, a través del cual las proteínas son transformadas en amoníaco y ácidos grasos. En menor grado se detectan también CO₂ y amidas. El amoníaco puede ser utilizado como fuente de nitrógeno por las bacterias, que quedan en condiciones de sintetizar proteínas bacterianas. Luego son arrastradas por la ingesta, y estas bacterias alcanzan el intestino y son allí digeridas, constituyendo una fuente proteica para el rumiante.

Las bacterias para realizar la síntesis de proteínas requieren fuentes nitrogenadas tales como: N-amoniaco, péptidos y aminoácidos. La eficiencia de captación del N-amoniaco dependerá de la energía disponible. La proteína bacteriana es de alta uniformidad, se mantiene constante independientemente del régimen alimenticio a que esté sometido el animal. El amoníaco que no es utilizado por las bacterias ingresa a través de las paredes ruminales al torrente sanguíneo. En el hígado es transformado en urea, perdiendo su carácter tóxico. La urea constituye también el producto final del metabolismo de las proteínas en el organismo, y en monogástricos es excretada como producto catabólico especialmente por la orina. En el rumiante una parte de esa urea puede retornar al rumen, ya sea directamente a través de la pared ruminal o bien con la saliva. La urea es seguidamente hidrolizada por la flora ureolítica del rumen y transformada de este modo en amoníaco y CO₂. El amoníaco así originado, constituye una fuente adicional de nitrógeno de carácter endógeno.

La capacidad de los microorganismos ruminales de sintetizar proteínas a partir de nitrógeno amoniaco permite la incorporación de nitrógeno no proteico (ej. urea) en la ración como sustituto parcial de las proteínas.

De lo anteriormente mencionado, se desprende que el rumiante cuenta con dos fuentes de abastecimiento proteico: las proteínas que alcanzan el duodeno sin ser degradadas y la otra la proteína proveniente de la flora microbiana del rumen.

Otras fuentes de proteínas de menor importancia son las proteínas protozoarias y proteínas contenidas en las secreciones digestivas.

Los animales en crecimiento y las vacas lecheras tienen altos requerimientos proteicos, y su producción depende en cierta medida de la cantidad de proteína de la dieta que pase el rumen sin degradarse, y de la proteína microbiana. Esta última de alto valor biológico (+ 60 %) está constituida por un perfil de AA muy completo pero con baja proporción de algunos que son limitantes para la producción de carne y leche, como son: la metionina, treonina y la lisina. (Fernández Mayer, 1998).

DEGRADABILIDAD DE LA PROTEÍNA DE LA DIETA

Las proteínas de la dieta pueden ser degradadas y fermentadas en el rumen. El grado de digestión varía marcadamente en los forrajes frescos de acuerdo al estado vegetativo y a la época del año. Los verdes tiernos y pastu-

ras en pleno estado vegetativo, especialmente en el otoño e invierno, se caracterizan por tener un alto contenido de NNP y proteínas muy degradables en el rumen (solubles). El porcentaje de NNP y la degradabilidad ruminal de la proteína dietaria se reduce a medida que aumenta el grado de madurez. En nuestros sistemas de producción el forraje aporta una gran parte de la energía y proteína consumida por el animal.

No toda la proteína consumida puede llegar al intestino. Si el contenido proteico es elevado, gran parte del N se perderá en el rumen en forma de NH₃.

Las dietas hiperproteicas pueden tener un efecto negativo en la ganancia de peso y en la retención de grasa. El aumento del nivel de amonio en rumen, puede afectar negativamente la liberación de insulina y el metabolismo de la glucosa (Fernández et al. 1990)

La energía es el primer factor que limita el crecimiento microbiano, y la eficiente utilización de esa energía para la producción de proteína es de suma importancia. La síntesis de proteína microbiana requiere un adecuado suministro de nitrógeno para alcanzar una máxima eficiencia. Si el nivel de N es excesivo la energía puede tornarse limitante para una eficiente utilización de N. El N y la energía deben estar balanceados (Stern y Hoover, 1979).

FACTORES QUE AFECTAN LA SÍNTESIS DE PROTEÍNA DEL RUMEN

- ◆ Fuentes de N y concentración de amoníaco: Aproximadamente el 80 % de las especies microbianas presentes en el rumen pueden crecer con N-NH₃ como única fuente nitrogenada. Estudios in vitro han demostrado que el máximo crecimiento se logra cuando el nivel de amoníaco es de 5 mg/100ml, pero estos estudios se contraponen con los realizados in vivo que indicaron que el máximo crecimiento se dio con una concentración ruminal de 5 mg/dl de NH₃. Estudios realizados por Santini y colaboradores, en pastoreo, observaron que en hasta un 12-14 % de proteína bruta, los niveles de NH₃ son de aproximadamente 5mg/dl y de aquí en más se produce una explosión de NH₃ en rumen, debido a la incapacidad de las bacterias por captar más NH₃.
- ◆ Fuentes de carbohidratos: además de la fuente nitrogenada, para la síntesis de proteína microbiana, es necesario el aporte de esqueletos carbonados y de energía (ATP) aportados ambos por la fermentación del sustrato. Los hidratos de carbono tales como azúcares solubles y almidón son más efectivos en incrementar la utilización del nitrógeno proveniente de la dieta, promoviendo un rápido crecimiento microbiano tanto in vivo como in vitro. Estudios realizados reportaron un incremento en la utilización del NH₃ con el uso de carbohidratos no estructurales en lugar de los estructurales (Stern y col. 1978)
- ◆ Eficiencia de captación del nitrógeno no proteico (NNP) por los microorganismos, según el tipo de alimento utilizado: con forrajes toscos donde el N es limitante (ej. forraje seco, picado con un contenido de proteína bruta menor al 8-9%) la liberación de NNP por los microbios está equilibrada con la liberación de energía, y los microbios son capaces de capturar la mayoría de ese N disponible. Con forraje fresco, con alto contenido de proteína, la liberación de NNP es muy rápida y grandes cantidades de amoníaco son absorbidas directamente del rumen. Esto se da en nuestros sistemas pastoriles. Cuando se suministran suplementos nitrogenados (caseína o urea) a animales con una dieta de forrajes toscos, se observa un desfase entre la rápida fermentación del suplemento y la más lenta de la energía del forraje, con la consiguiente pérdida del N amoniacal por absorción a través de la pared del rumen. (Santini, 1994).
- ◆ Tasa de dilución: la tasa de dilución es definida como la ruminal que deja el mismo por unidad de tiempo. Al aumentar la tasa de dilución, la población microbiana y el tiempo de residencia disminuyen, aumentando la síntesis bacteriana. Los factores que afectan esta tasa son: relación entre forraje y concentrados; tamaño de la partícula, presentación física del alimento, etc.
- ◆ Otros factores: Síntesis de metionina y cisteína por los microorganismos requiere azufre y su consumo puede limitar la síntesis de proteína, cuando se usan grandes cantidades de NNP. Además para la síntesis de ácidos nucleicos se necesita fósforo. Deficiencias de este elemento pueden traer aparejado cambios en la concentración de los productos finales de la fermentación (Santini, 1994).

SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADOS PROTEICOS

La proteína puede ser suplementada en dos formas: solubles (mayor degradabilidad ruminal: harinas vegetales) y menos solubles (harinas de origen animal de menor degradabilidad).

Las proteínas solubles convienen ser suplementadas cuando el forraje es de bajo contenido proteico, lo que mejora el consumo de forraje por incremento de la tasa de digestión y por incremento de la tasa de pasaje.

Proteínas menos solubles, muchas veces llamadas By-pass, también tienen efectos positivos sobre el consumo y la ganancia de peso, pero los mecanismos no están totalmente dilucidados. Estos suplementos son esenciales cuando se quiere incrementar el nivel de aminoácidos que llegan al duodeno (Ferguson 1973). El inconveniente es que la respuesta animal dependerá de los niveles suplementados y la baja palatabilidad de los mismos.

La suplementación con concentrados proteicos sólo tendrá sentido con animales en crecimiento y cuando la dieta base, por ej. pastura tenga un contenido bajo de proteína :<14 % PB (Rearte y Elizalde 1994)

LÍPIDOS

En general los forrajes contienen sólo 2-5% de lípidos en su MS, y sólo un 50% de esos lípidos está bajo la forma de ácidos grasos, con altos porcentajes de ácidos linoleico y linoléico.

La composición de lípidos de los forrajes es muy variada incluyendo lípidos simples, fosfolípidos, galactolípidos y pigmentos. El porcentaje de ácidos grasos de los forrajes verdes puede alcanzar un 3% de la MS en el caso de pastos tiernos, observándose valores mínimos (0,5% de la MS) en espigazón y en pleno verano. El ensilaje de pasturas presenta un patrón similar al de los forrajes frescos. El porcentaje de ácidos grasos en los ensilajes de maíz está comprendido entre el 1-2% de la MS.

Los granos oleaginosos (colza, soja, girasol) son ricos en lípidos (20-40 % de la MS), con elevado contenido de triglicéridos (99%). La mayoría de las tortas (subproductos de la extracción del aceite) contienen menos de un 3% de lípidos de los cuales un 60% son triglicéridos.

El contenido de lípidos de los granos de cereales varía entre 2,1% (trigo) a 7,1% (avena).

El glicerol y los ácidos grasos de menos de 10 carbonos, son rápidamente absorbidos por transporte pasivo en el duodeno, en cambio los ácidos grasos libres (> 10 carbonos), el colesterol y los B-monoglicéridos se combinan con las sales biliares conjugadas para formar una micela, que se absorbería en el íleon.

Se considera que no existe un gasto de mantenimiento específico a ser cubierto por los ácidos grasos de cadena larga ya que los requerimientos de energía pueden ser satisfechos por diversos nutrientes aunque con diferentes eficiencias. La producción de grasa butirosa es la única función productiva que representa un gasto específico de ácidos grasos.

La lactancia impone pues un requerimiento dietético específico en ácidos grasos, el cual es difícil de cuantificar.

Algunos autores han propuesto niveles de ingestión de ácidos grasos considerados óptimos para vacas en lactancia. Así, Kronfeld (1976) sugirió que un 16% de la energía metabolizable aportada como ácidos grasos permitiría una máxima eficiencia de utilización de la energía metabolizable para lactación.

En nuestros sistemas de producción de carne la alimentación del ganado se basa en el aprovechamiento directo de las pasturas y verdes de calidad. Sin embargo debido a la estacionalidad de sus producciones o a determinados objetivos empresariales se recurre al uso de concentrados y de reservas forrajeras (henos y silajes) En cuanto a la producción láctea aún cuando la disponibilidad ni la calidad de las pasturas son limitantes, el consumo de forraje y de energía se encuentra limitado por el efecto del llenado del rumen. Dicha limitación energética podría afectar la producción de leche, ya que esta última depende de la energía absorbida por el animal. El tenor graso promedio de la leche sería subóptimo considerando el potencial genético de los rodeos lecheros. (Rearte y Santini 1989). El aporte de concentrados (granos de cereales) a una dieta basada en forraje aumenta el valor energético de la misma, pero podría afectar el ambiente ruminal considerado óptimo para la actividad de los microorganismos celulolíticos, la digestión de la fibra del forraje y la síntesis de grasa butirosa.

El aporte de lípidos protegidos contra la degradación ruminal en la alimentación de vacas lecheras, es una alternativa muy utilizada en los sistemas de producción de USA y Europa. Gracias a su alto contenido energético (9,5 kcal de energía bruta/g) dicha suplementación permite reducir la cantidad de carbohidratos rápidamente fermentescibles (almidón, pectinas). Las fermentaciones en el rumen son así modificadas hacia una disminución de la producción y absorción de propionato, y una menor producción de glucosa e insulina en el organismo. Estas circunstancias serían propicias para un aumento de la síntesis de grasa butirosa con respecto a suplementos demasiado ricos en almidón que pueden tener efectos adversos sobre la digestibilidad de la fibra y proteína como así también sobre la población bacteriana (Gagliostro y Chilliard 1992).

Existen diversas técnicas industriales de protección de los lípidos para disminuir los riesgos de perturbación de las fermentaciones ruminales:

- lípidos protegidos: consiste en encapsular partículas lipídicas con proteínas tratadas con formaldehído. El proceso se aplica a grasas animales ricas en ácidos grasos saturados y a los aceites vegetales ricos en ácidos grasos insaturados (Scott et al 1970, Fogerty and Johnson 1980)
- adsorción de las grasas sobre un soporte inerte como la vermiculita y/o bentonita (Hawkins et al. 1984)
- cristalización en frío de ácidos grasos (fat prills) o grasas saturadas (Banks et al. 1984)
- aporte de ácidos grasos de cadena larga bajo la forma de sales de calcio inertes respecto a la flora microbiana. Actualmente es la fuente de lípidos más utilizada en la suplementación de vacas lecheras. No produce un efecto negativo sobre la digestión de la pared celular del forraje, aún con dietas ricas en almidón. (Chalupa et al 1984).

La utilización de lípidos protegidos sería una alternativa de suplementación a tener en cuenta fundamentalmente en vacas lecheras de altos requerimientos y dependerá del objetivo de producción buscado: alta producción de leche y grasa o un adecuado porcentaje de proteína.

Un aporte importante de lípidos protegidos, permitiría aumentar la producción de leche y grasa. Si el porcentaje de proteína es el objetivo a maximizar, solo un moderado aporte de lípidos en el suplemento sería aconsejable.

Los lípidos pueden ser considerados como un nutriente capaz de sustituir una cierta cantidad de carbohidratos aportados por los granos (cereales) en la alimentación de las vacas lecheras. Las condiciones óptimas de sustitución deberán ser precisadas a fin de razonar la nutrición de las vacas lecheras no sólo en términos de energía, sino también en absorción de glucosa, ácidos grasos volátiles, aminoácidos y ácidos grasos de cadena larga.

METABOLISMO DE LAS GRASAS

La grasa que forma parte de la ración de los rumiantes, sufre antes de ser absorbida en el intestino, modificaciones derivadas del proceso fermentativo.

Las grasas sufren un proceso de hidrólisis en el rumen, del cual son responsables las lipasas producidas por algunas especies de bacterias ruminales. Tras el proceso de hidrólisis, los ácidos grasos insaturados son en parte sometidos a una hidrogenación en el rumen. Como resultado de esta hidrogenación, la proporción de ácidos grasos insaturados que fluyen posteriormente al intestino para su absorción es significativamente inferior a la que originalmente presentaba el alimento.

El grado de hidrogenación en el rumen se encuentra influenciado por el pH, siendo mayor a pH altos, y viceversa.

Los ácidos grasos insaturados, a causa de su tensión superficial, pueden alterar la permeabilidad de las células bacterianas, produciendo una inhibición del proceso fermentativo del rumen.

- ◆ De una hidrogenación ruminal ineficiente pueden presentarse en animales jóvenes distrofias musculares, como consecuencia de una deficiencia de vitamina E.
- ◆ Productos secundarios del proceso de reducción en el rumen, son ácidos grasos de cadena ramificada, como también isómeros, que pueden posteriormente detectarse en la leche.
- ◆ Estos isómeros son en parte responsables del olor y sabor de algunos productos lácteos (ej. olor de la crema de leche).

El metabolismo de los lípidos está principalmente afectado por la insulina y las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina). Los efectos lipogénicos y antilipolíticos de la insulina estarían a nivel de captación del acetato (principal precursor para la síntesis de ácidos grasos) y de glucosa. La insulina promueve la ganancia de peso (mayor captación de nutrientes por los tejidos: muscular y adiposo), cuando desciende los nutrientes circulan desde los tejidos hacia el hígado (producción de glucosa).

El glucagón y las catecolaminas aseguran una rápida movilización de reservas (glucógeno, lípidos, glicerol, proteínas).

La hormona del crecimiento y las somatomedinas inducen el catabolismo de los lípidos.(Gagliostro 1994).

Se ha comprobado en ovinos y bovinos que el total de ácidos grasos en el duodeno puede superar la cantidad ingerida en el alimento. Este aumento se debe a las grasas de origen microorgánico, que son sintetizadas en el rumen a partir de los carbohidratos.

Los cuerpos celulares de las bacterias y protozoos contienen cantidades variables de ácidos grasos, además de otros tipos de lípidos, que según mediciones efectuadas en vacunos adultos, fluctúan entre 50 y 150 gr diarios. Estas grasas de origen microbiano contienen una importante proporción de ácidos grasos ramificados.

A pesar de las transformaciones que las grasas sufren en el rumen, hay relación entre el tipo de grasa ingerida y la composición de la grasa de la leche del rumiante.

Ácidos grasos saturados de hasta 16 carbonos son sintetizados en la glándula mamaria a partir de los ácidos grasos volátiles, originados en el rumen. A partir del acético es sintetizado alrededor del 35-50 % de la grasa de la leche. Otro 20 % de los ácidos grasos proviene del tejido adiposo del organismo, en particular del ácido oleico. El resto proviene de los ácidos grasos de cadena larga del alimento.

Los alimentos ricos en ácidos grasos insaturados (AGI), como por ej. : forrajes verdes, lino, soja, maíz, etc., determinan una grasa en la leche de consistencia blanda. Otros con baja proporción de AGI forman en la leche una grasa de consistencia dura. Igual efecto tienen aquellos alimentos con alto contenido de fibra bruta, tales como heno, paja, pradera endurecida etc., en los cuales la producción de ácido acético en el rumen es mayor.

CAMBIOS DE DIETA

Una dieta puede estar constituida por uno o varios alimentos. En los sistemas extensivos una pastura o pastizal es el único componente; a medida que los sistemas se intensifican se agregan elementos a las dietas: ej. de un tambo la dieta está compuesta por 3 o 4 elementos: una o varias pasturas durante el pastoreo y los suplementos

(henos, silajes y concentrados) son de uso común. Esto implica un acostumbramiento del animal y del rumen a estos alimentos. Cuando ocurren cambios en la alimentación, suele conducir a una disminución del consumo ya que se producen modificaciones en el número y tipo de bacterias y protozoarios en el rumen.

Todo cambio en la dieta requiere un período de acostumbramiento del animal y del rumen a esa nueva dieta.

Cuando este periodo no se cumple porque los componentes de la dieta se modifican abruptamente, están mal balanceados o son mal suministrados, ocasionan desórdenes en el metabolismo y fermentación.

Están ampliamente aceptados períodos de acostumbramiento que varían entre 7 y 14 días para el rumen, existiendo también un período de adaptación a nivel enzimático y hormonal que requiere de otros 4 a 7 días, una vez estabilizado el rumen. Por lo que el período total de acostumbramiento varía entre los 11 y 21 días.

ACIDOSIS

Los desórdenes ruminales, son el resultado de un cambio brusco en el alimento o la introducción de algún elemento al cual los microbios del rumen no están acostumbrados, produciéndose modificaciones descontroladas de la fermentación.

Por ej. ante el consumo de granos o concentrados en grandes cantidades, y sin acostumbramiento previo, se produce una proliferación de microorganismos facultativos con gran generación de ácido láctico, el que hace disminuir el pH. Este pH bajo, inhibe las bacterias que transforman el ac. láctico a propiónico, acumulándose en el rumen. La caída del pH puede alcanzar valores de 4,5 a 5 produciendo daños en las paredes del rumen y la muerte del animal por acidosis sistémica, que impide el transporte normal de O₂ por la hemoglobina. También puede generarse acidosis crónica, con daños en la pared ruminal y caída del consumo (Santini, 1994).

La acidosis es el desorden nutricional más importante en el feed-lot, está provocado por el alto consumo de granos o azúcares. En situaciones de consumo de pasturas/forrajes la fermentación es lenta y la flora es celulolítica. Al incrementar el cereal y los almidones la flora debe cambiar a amilolítica, y este proceso lleva su tiempo.

Una acidosis severa puede provocar ruminitis, pasaje de bacterias al torrente circulatorio con la producción de abscesos hepáticos, mala absorción, reducción del consumo de materia seca, etc.

Puede ser aguda o subaguda. En el caso de la aguda entre otras afecciones baja o se anula la producción de tiamina (vitamina del grupo B) que normalmente es producida por las bacterias del rumen.

Lo más frecuente y con mayor impacto económico es la variedad de acidosis subaguda, se puede diagnosticar por bajo consumo sin otra causa aparente o un consumo desparejo, salivación excesiva y diarreas.

La diferencia económica por el efecto de la acidosis subaguda es importantísima.

Hay que trabajar con acostumbramientos adecuados, es recomendable el uso de ionóforos y en casos severos usar antiácidos, se emplea el bicarbonato de sodio con óxido de magnesio como sustancia buffer.

EMPASTE O METEORISMO ESPUMOSO

El empaste es una alteración digestiva caracterizada por una incapacidad del animal para eliminar los gases provenientes de la fermentación del forraje en el rumen. Aparece con mayor frecuencia en vacunos que pastan alfalfa o tréboles blanco o rojo, pero también puede presentarse sobre algunas gramíneas. Lo que sucede con las leguminosas anteriormente mencionadas es que contienen más proteínas solubles que las gramíneas y son digeridas más rápidamente y con mayor producción de gas.

Puede ocasionar serias pérdidas a la producción pues, como consecuencia de la retención de gases en el rumen, los animales disminuyen o interrumpen el consumo de forraje. Aunque la distensión del rumen no sea evidente (empaste subclínico) esta limitación del consumo disminuirá la ganancia de peso y la producción de leche. En casos extremos, los animales pueden morir por insuficiencia respiratoria y circulatoria derivada de la compresión del diafragma y de vasos sanguíneos.

Durante la fermentación en el rumen, se producen ácidos grasos volátiles que se absorben a través de las paredes del rumen y gases (CO₂ y metano) que el animal no utiliza y debe eliminar por eructación.

En condiciones normales el gas producido en el rumen se separa del forraje que está siendo digerido y queda por encima de este formando una bolsa de gas que periódicamente es eructada por el animal. En cambio, en los animales empastados el gas permanece atrapado en pequeñas burbujas mezcladas con el líquido y el forraje en digestión. Esta masa no puede ser eructada y se acumula en el rumen.

Los hidratos de carbono son rápidamente fermentados con gran producción de gas, mientras que las proteínas crean condiciones propicias (cambios de viscosidad, tensión superficial, etc.) para que este gas quede atrapado en burbujas (espuma) dentro del contenido ruminal. También contribuyen a estabilizar estas burbujas ciertas sustancias viscosas (polisacáridos) segregadas por algunos microbios, y las partículas de cloroplastos y membranas celulares del forraje.

Existe una susceptibilidad individual de los vacunos al empaste y la misma es hereditaria. También hay diferencias entre razas pero son menores.

Para reducir la incidencia y/o severidad del empaste hay varios métodos:

- ◆ siembra de mezclas de leguminosas y gramíneas
- ◆ fertilización nitrogenada, que aumenta la proporción de gramíneas en la pastura y reduce el N soluble en la leguminosa
- ◆ el uso de leguminosas no timpanizantes
- ◆ pastoreo en un estado avanzado de madurez de la leguminosa
- ◆ observación de los animales durante el pastoreo.

Para reducir la incidencia y/o severidad del empaste se emplean

- ◆ tensioactivos sintéticos (poloxaleno, terics)
- ◆ antiespumantes (aceites vegetales, grasas animales emulsionadas, vaselina líquida)
- ◆ antibióticos (monensina)

Debido a los múltiples factores predisponentes para la ocurrencia del meteorismo espumoso, no existe un método con el cual se lo pueda controlar total y permanentemente. Hay medidas de manejo de las pasturas y de los animales, como así también productos químicos, que permiten reducir los riesgos del empaste. (Cangiano y Fay 1994).

CONCLUSIONES

El conocimiento de la composición química y del valor nutritivo de los alimentos, es indispensable a fin de proponer estrategias de alimentación bien adaptadas a los requerimientos de los animales, con el propósito de obtener una respuesta productiva a partir de una determinada dieta.

El conocimiento de las interacciones que ocurren entre el alimento, los microorganismos y el animal son necesarios para poder predecir cual será la respuesta ante una alimentación dada o ante un cambio de dieta.

Puede suceder que se suministren alimentos de buena calidad a los animales y que no se obtenga una respuesta acorde. Esto se debe a desbalances de energía y/o proteína a nivel ruminal; escasez de algún nutriente para las bacterias; cambios frecuentes en los constituyentes de la dieta; variaciones marcadas en los niveles de suplementación; etc. Estos y otros factores pueden generar respuestas subóptimas que disminuyen la performance animal.

BIBLIOGRAFÍA

- Amstrong, D. G, y Smithard R.R. The fate of carbohydrates in the small and large intestines of the ruminants. Proc. Nutr. Soc. 38: 283. (1979)
- Banks, W., Clapperton J.L., Girdler A.K. and Steele W. Effect of inclusion of different forms of dietary fatty acid on the yield and composition of cow's milk. J. Dairy Res. , 51: 387-395 (1984)
- Beever, D.E., Coelho, D. A., Silva J. F., Prescott J. D. , Armstrong D. E.. Br. Nutr. 28: 347. (1972)
- Beever, D. E. Animal ruminant. Production from forage: present position and future opportunities. Congreso mundial de pasturas. Nueva Zelandia. (1993)
- Cangiano C. y Fay P. Nutrición animal en rumiantes. INTA Balcarce (1994)
- Chalupa W., Rickabaugh B. Kronfeld D.S. and Sklan D. Rumen fermentation In vitro as influenced by long-chain fatty acids. J. Dairy Sci. 67:1439-1444 (1984)
- Dehority, B. A. Hemicellulose degradation by rumen bacteria. Federation Proc. 32:1819. (1973)
- Elizalde J.C. y Santini F.J. Factores nutricionales que limitan las ganancias de peso en bovinos en el período otoño-invierno. Boletín técnico N° 104 INTA Balcarce (1992)
- Ferguson K.A. Future prospects for the pastoral industries. Sydney Univ. Press. pp.521-545 (1973)
- Fernández Mayer, A. Fisiología de la producción de carne. INTA. (1998)
- Fogerty A.C., Johnson A.R. Influence of nutritional factors on the yield and content of milk fat: protected polyunsaturated fat in the diet. Int. Dairy Fed. Bull 125: 96-104 (1980)
- Gagliostro G. Regulación del metabolismo en rumiantes. Nutrición animal en rumiantes. INTA (1994)
- Gagliostro G.A. y Chilliard Y. Utilización de lípidos protegidos en la nutrición de vacas lecheras. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 12 N° 1: 1-15 (1992)
- Hawkins E.E., Meader J.E., Owen F.J. and Lowry S.R. Optimizing soybean utilization in dairy cows. J. Dairy Sci. 67:125 (Abstr.)(1984)
- Kaufmann, W.. Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH –regulation in the rumen and on feed intake in ruminants. Livestock Proc. Sci. 3:103. (1976)
- Kaufmann, W., Saelzer V. Fisiología digestiva aplicada del ganado vacuno. Ed. Acribia. Zaragoza. (1974)
- Kronfeld D.S. The potential importance of the proportions of glucogenic, lipogenic and aminogenic nutrients in regard to the health and productivity of dairy cows. Adv. Anim. Nutr. 7:5-26. (1976)
- Leng, R. A. Salient features of the digestion of pastures by ruminants and other herbivores in “Chemistry and Biochemistry of Herbaje”. Acad. Press. Vol. 3, pag. 82:125. (1973)
- Rearte D.H.; Elizalde J.C. Suplementación de vacunos en pastoreo. Nutrición animal en rumiantes. INTA (1994)
- Rearte , D.H., Santini F.J., García P.T., Maritano M. y Elizalde J.C. Efectos de la suplementación de semilla de girasol sobre la producción y composición de la leche. Rev. Arg. de Prod. Animal 9 (supl. 1): 6. (1989)

- Santini, F. J. , Fisiología de la digestión ruminal .Aspectos conceptuales e implicancias practicas. Nutrición animal en ruminantes. INTA. Balcarce. (1994).
- Santini F.J. y Di Marco O.N. Monensina. Modo de acción y su comportamiento productivo del animal. Rev. Arg. Prod. An. 3:345 (1983)
- Stern M. D., Hoover, W. H. Sniffen C.; Crooker B. A. And Knowlton P. H. Effects of nonstructural carbohydrate urea and soluble protein levels on microbial protein synthesis in continuous culture of rumen contents. J. Anim. Sci. 47:944. (1978)
- Scott T.W., Cook L.J., Ferguson K.A., MC Donald I.W., Buchanan R.A. and Loftushills G. Production of polyunsaturated milk fat in domestic ruminants Austr. J. Biol. Sci. 32 : 291-302 (1970)
- Van Soest P.J. Nutricional Ecology of the Ruminant. 1982

Volver a: [Fisiología digestiva y manejo del alimento](#)