

## Abstract

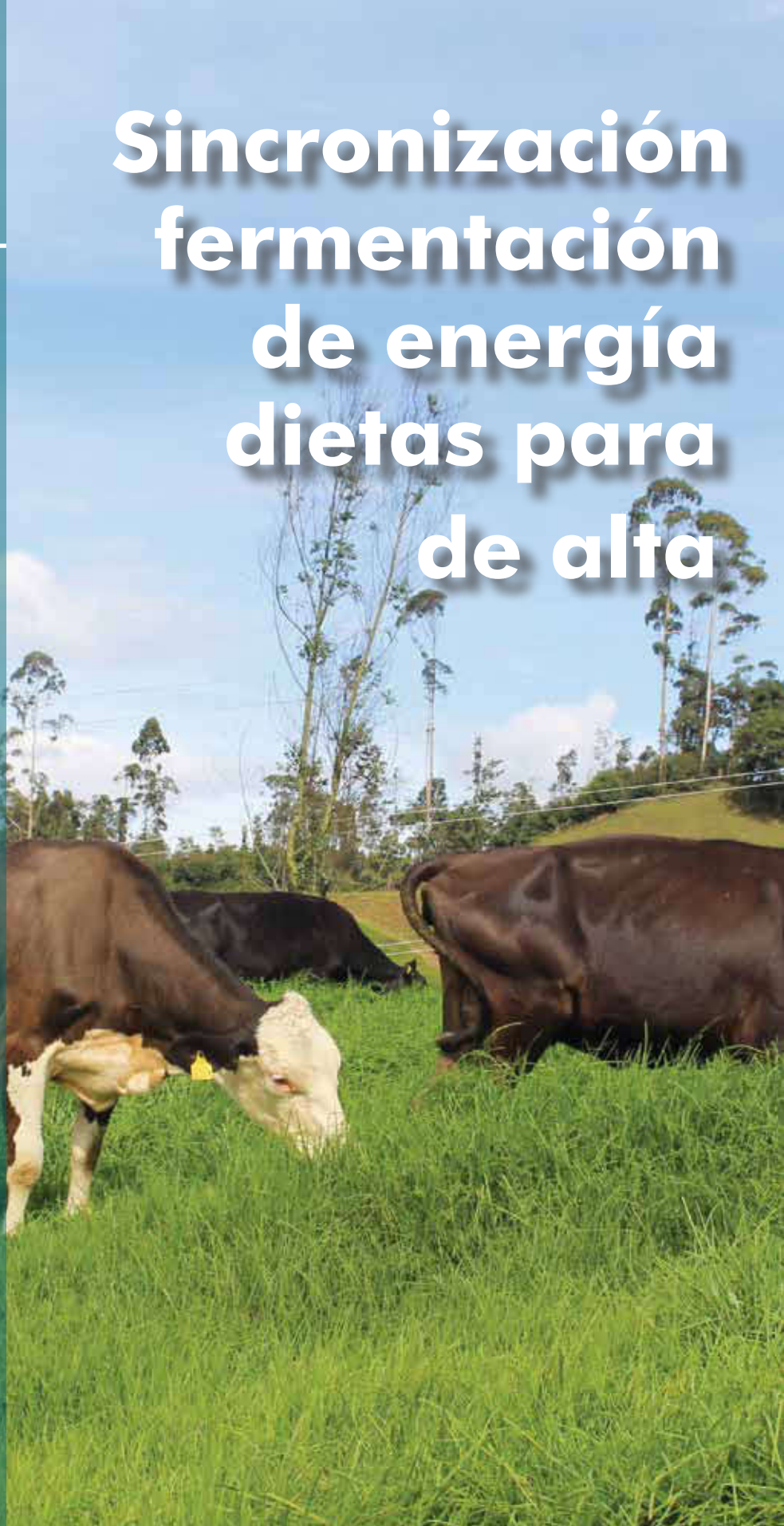
In Colombia, specialized dairy systems are mainly developed for grazing Kikuyo grass (*Cenchrus clandestinus* (Hochst ex Chiov.) Morrone), whose management has focused on fertilization with nitrogen compounds. This management has created an imbalance in the ruminal fermentation of energy/protein, a problem that has been remedied with the use of concentrated foods rich in starch (energy) changing the normal patterns of ruminal fermentation. It has helped to accelerate the rate of food passage, decreased digestibility, subclinical ruminal acidosis, foot disease, high level of blood urea nitrogen and milk (BUN and MUN), negative effects on production and reproduction. It is essential to know the energy and protein metabolism of the dairy cow to adjust nutrition and feeding plans, taking into account that the forage base plays a very important role in animal performance. In this sense, strategic fertilization plans should be created, where the appropriate amount of nitrogen and other essential elements for the plant are applied, in addition to the implementation of combination of grasses, legumes and other forage crops that are adaptable to the high tropic, and not as nitrogen dependent as the current model.

### Keywords:

- Digestibility, production, requirements, efficiency, profitability.

Foto: Archivo COLANTA.

# Sincronización fermentación de energía dietas para de alta



# de la ruminal y proteína en vacas lactantes producción

**Juan Manuel Rojo Bedoya**

Zootecnista

Especialista, MSc.

Asesor técnico, profesor Universidad de Antioquia



## Resumen

**E**n Colombia los sistemas de lechería especializada se desarrollan fundamentalmente en pastoreo de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), cuyo manejo se ha enfocado en la fertilización con compuestos nitrogenados. Este manejo ha creado un desbalance en la fermentación ruminal de la energía/proteína, problema que se ha querido remediar con la utilización de alimentos concentrados ricos en almidón (energía) cambiando los patrones normales de la fermentación ruminal. Esto ha contribuido a acelerar la tasa de pasaje del alimento, disminución de la digestibilidad, acidosis ruminal subclínica, infosura, alto nivel de nitrógeno ureico en sangre y leche (BUN y MUN), con afectaciones negativas en producción y reproducción. Es indispensable conocer el metabolismo energético y proteico de la vaca lechera para ajustar los planes de nutrición y alimentación, teniendo en cuenta que la base forrajera cumple un papel de suma importancia en el rendimiento animal. En este sentido, se deben crear planes de fertilización estratégica, donde se aplique la cantidad adecuada de nitrógeno y otros elementos esenciales para la planta, además de la implementación de policultivos de gramíneas, leguminosas y otras forrajeras que sean adaptables al trópico alto y no tan dependientes de nitrógeno como el modelo actual.

### Palabras Clave:

- Nutrición animal,

## Introducción

Los sistemas de alimentación de rumiantes se fundamentan en el pastoreo de gramíneas, principalmente (Bakhashwain *et al*, 2010; López *et al*, 2014). En el trópico alto colombiano se utiliza el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), especie naturalizada de mecanismo fotosintético C4, en general, con altas tasas de crecimiento, altos niveles de Fibra en Detergente Neutro (FDN), alta proteína bruta rica en Nitrógeno No Proteico (NNP), bajo contenido de Materia Seca (MS) y bajo nivel de azúcares (Carbohidratos Solubles CHOS). Estas características hacen que la calidad de la base forrajera sea insuficiente para cubrir los requerimientos nutricionales de vacas lecheras (López *et al*, 2014). El sistema de producción convencional en las ganaderías de leche especializada de Antioquia se basa en altas cantidades de fertilizantes nitrogenados, que son la principal causa del desbalance en la relación energía/proteína, que afecta los patrones de fermentación ruminal, metabolismo energético y metabolismo de productos nitrogenados. Un excesivo suministro de nutrientes resulta en un incremento de las excretas y la posible contaminación generada por nitrógeno (N), fósforo (P), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) es producto de dietas desbalanceadas (Ji Young Yanga *et al*, 2010).



Foto: César Hernández O.

Las investigaciones han determinado que la deficiencia más marcada en estos sistemas de producción es la energía. La base forrajera con la que se cuenta es pobre en el aporte energético, pues el kikuyo puede contener entre 1 y 1.2 megacalorías de Energía Neta de Lactancia —ENL—/kilogramo de MS y no alcanza a cubrir los requerimientos energéticos de vacas de alta producción que están alrededor de 1.6 megacalorías de —ENL—/Kg de MS. En los primeros cien días posparto este concepto cobra importancia, pues el animal entra en un balance energético negativo, pierde peso y consume reservas corporales, situación que, aunada al exceso de proteína cruda (PC) de los pastos (22 a 24%) cuya porción de la MS es rica en NNP, causa acumulación de amonio a nivel ruminal y sanguíneo. Claramente existe un desbalance entre la energía y la proteína en la dieta. La energía es el nutriente limitante para la productividad bajo condiciones de pastoreo, mientras que el suministro de aminoácidos usualmente excede los requerimientos de las vacas (Kolver *et al*, 1998).

El nitrógeno dietario, el cual no es convertido de N lácteo tiene efectos negativos sobre el animal, reduce la disponibilidad de energía debido al gasto de la misma en el proceso de conversión del amoníaco (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) a urea (Pacheco *et*

al, 2008), el exceso de N está asociado con problemas reproductivos (Butler, 1998), bajo consumo de MS (Cosgrove *et al*, 1999), riesgo de intoxicación debido al exceso de nitratos (Bolan & Kemp, 2003), olores y sabores indeseables en la leche (Bendall, 2001); contaminación ambiental principalmente a través de la excreción de N urinario (Pacheco *et al*, 2008) y alto nitrógeno ureico en leche (MUN).

Para tratar de solucionar este desbalance, se recurre a alimentos concentrados en la dieta diaria de las vacas, los cuales hacen un aporte significativo de almidones, que posiblemente llenan el requerimiento energético del animal a costa de trastornar la fermentación normal del retículo-rumen, al estar los microorganismos allí presentes predispuestos a desdoblar los carbohidratos solubles y los fibrosos de los forrajes, mas no para desdoblar una sobrecarga de almidones, trayendo como consecuencia acidosis metabólica. Debido a los efectos negativos relacionados con la baja eficiencia de utilización del N, es necesario desarrollar cambios en las estrategias que incrementen la eficiencia



Foto: Elizabeth Benjumea.

en sistemas de lechería especializada (Keim & Anrique, 2011).

El concepto de sincronización de energía - proteína fue propuesto primero por Jhonson (1976) e implica que la máxima síntesis de proteína microbial puede alcanzarse mediante el equilibrio entre la tasa de degradación de la materia orgánica y la proteína bruta. Él propuso que para suspender la tasa de suministro continuo de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en el rumen procedente de la dieta, la fuente de proteína debería tener varias tasas de solubilidad, podría regular la liberación de amonio y entonces inducir la fermentación de los carbohidratos para, de esta manera incrementar la síntesis microbial (Bayati Zadeh *et al*, 2013). Sincronización significa disponer de la cantidad necesaria de energía en forma de carbohidratos o materia orgánica y PB en forma de NNP disponible en el rumen durante el día, y M.O que no exceda el contenido de N que limite la máxima síntesis microbial en cualquier momento (Chamberlain & Choung, 1995). La sincronización de la disponibilidad de proteína y energía en el rumen es el primero de los conceptos metodológicos para incrementar la eficiencia de utilización de los nutrientes por los rumiantes (Bayati Zadeh *et al*, 2013).



Foto: Archivo COLANTA.

La formulación de dietas que fueron sincronizadas para energía y liberación de N en el rumen mostraron incrementos en la eficiencia de la síntesis de proteína microbial (Sinclair *et al*, 1993).

Existen tres métodos experimentales en los que se ha trabajado la sincronización entre energía/proteína:

- 1) Cambios en los ingredientes dietarios.
- 2) Dosificación de la forma específica de energía y proteína directamente en el rumen.
- 3) Alteración de los tiempos relativos de suministro de los diferentes ingredientes (Bayati Zadeh *et al*, 2013).

Algunos investigadores como Sinclair *et al* (1993) usan un índice para determinar el grado de sincronización entre energía y suministro de proteína para la síntesis de proteína microbial: un índice de 1 significa perfecta sincronía entre energía y proteína disponible en el rumen para síntesis de PM y un índice de 0 una sincronización imperfecta.



Foto: Archivo COLANTA.

## Ambiente ruminal

Antes de describir los procesos referentes a la fermentación energética y proteica a nivel ruminal, se debe hablar sobre el ambiente ruminal. Los ácidos que se producen en las fermentaciones pueden, teóricamente, reducir el pH del líquido ruminal a 2.5 - 3.0, pero en condiciones normales el pH se mantiene entre 5.5 y 6.5. El fosfato y el bicarbonato de la saliva actúan como amortiguadores y, por otra parte, la rápida absorción de los ácidos y también del amoníaco ayuda a estabilizar el pH. La presión osmótica del contenido ruminal se mantiene próxima a la de la sangre por el flujo de iones entre ellos. El oxígeno que se ingiere con los alimentos se consume rápidamente, lo que genera anaerobiosis. Por último, la temperatura se aproxima a la del animal hospedero (38-40 °C) (Ramírez, 2003).

La cantidad de gases producidos en el rumen es de, aproximadamente, CO<sub>2</sub>: 65%, CH<sub>4</sub>: 27%, N<sub>2</sub>: 7%, O<sub>2</sub>: 0.6%, H<sub>2</sub>: 0.2%, H<sub>2</sub>S: 0.01% (Yokoyama & Jhonson, 1993).

## Microorganismos del rumen

En el contenido ruminal, las bacterias se encuentran en un número de 10<sup>9</sup> a 10<sup>10</sup> por ml y cerca de 60 especies han sido identificadas (Ramírez, 2003). En la Tabla 1 se muestran las especies más importantes y se indican los sustratos que

se utilizan en la fermentación. El ácido succínico, que es un importante producto del ciclo de Krebs, es convertido en ácido propiónico por otra bacteria como la *Selenomonas ruminantium* (Ramírez, 2003). El número total de bacterias y la población relativa de especies varía con la dieta de los animales; por ejemplo, las dietas ricas en concentrados promueven un alto contenido de la proliferación de lactobacilos (Van Soest, 1994; Ramírez, 2003).

Los protozoarios están presentes en cantidades mucho menores que las bacterias ( $10^6$ /ml). En animales adultos, muchos de los protozoarios son ciliados y pertenecen a dos familias:

la *Isotrichidae*, comúnmente llamada holotricha, que son organismos ovoides cubiertos con cilios; en ellos se incluyen los géneros *Isotricha* y *Dasytricha* y el *Ophyoscolecidae* u *Oligotrichs* el cual incluye muchas especies que varían en tamaño, figura y apariencia. En ellas se incluyen los géneros *Entodinium*, *Diplodinium*, *Epidinium* y *Ophryoscolex*. La *Oligotrichs* puede ingerir partículas de alimentos y puede utilizar carbohidratos simples y complejos incluyendo la celulosa. La holotricha, por su parte, no ingiere partículas de alimento y no puede utilizar la celulosa (Van Soest, 1994; Ramírez 2003).

**Tabla 1.**

Bacterias típicas del rumen, sus fuentes de energía y productos de la fermentación *in vitro*.

Especie	Descripción	Fuentes de energía más comunes	Productos típicos de la fermentación*						Fuentes alternas	
			Acé	Prop	But	Láct	Succ	Fór		
<i>Bacteriodes succionogenes</i>	Bastones gram negativos	Celulosa	Sí					Sí	Sí	Glucosa
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	<i>Streptococcus catalasa</i> negativos con colonias amarillas	Celulosa	Sí					Sí	Sí	Xilanas
<i>Ruminococcus Albus</i>	Cocos gram positivos de cadena corta encapsulados	Almidón					Sí			Glucosa
<i>Streptococcus Bovis</i>	Cocos gram positivos de cadena corta encasulados	Almidón					Sí			Glucosa
<i>Bacteroides ruminicola</i>	Gran positivo oval en forma de bastón	Glucosa	Sí					Sí		
<i>Megasphora Elsdenni</i>	Cocos grades en pares o en cadenas	Lactato	Sí	Sí	Sí					Glucosa

Convenciones: Acé: acético; Prop: propiónico; But: butírico; Láct: láctico; Succ: succínico; Fór: fórmico. Fuente: Ramírez, 2003.

La población de hongos del rumen ( $10^3$ - $10^5$ /ml) está directamente relacionada con el contenido de fibra de la dieta y su proporción disminuye en dietas ricas en almidón o azúcares solubles. Los hongos ruminales tienen la capacidad enzimática para hidrolizar celulosa y xilano, aunque parecen no degradar pectina (Lee, 2002; Gallo y Ceballos, 2005). Se ha postulado, además, que algunas especies como *Neocallimastix frontales* y *Piromyces comunis* son tanto o más eficientes en la digestión de carbohidratos estructurales que las especies bacterianas celulolíticas más activas (Borneman y Akin, 1990; Gallo y Ceballos, 2005).

Lo ideal es mantener condiciones ruminales estables que permitan un crecimiento de las diferentes poblaciones de microorganismos para así tener una mejor fermentación (Van Soest, 1994).

## Fermentación ruminal de la energía

Los animales rumiantes tienen la capacidad de utilizar los ácidos grasos volátiles como fuente de energía corporal. De hecho, en dichos animales entre el 50 y 80% de la glucosa disponible a nivel celular proviene del metabolismo de los ácidos grasos volátiles (Shimada, 2003). Los carbohidratos de recursos fibrosos y de suplementos utilizados en lechería se pueden clasificar de acuerdo con

la tasa de degradación ruminal: fracción A, rápidamente degradable (azúcares); fracción B1, degradabilidad intermedia (almidón); fracción B2, lentamente degradable (pared celular) y la fracción C, indigestible (pared celular indigestible, lignina) (Sniffen *et al*, 1992). La degradación microbiana de los polisacáridos complejos y de los glúcidos simples que ocurre en el rumen pone a su disposición una serie de metabolitos, ya sea en forma directa o mediante transformaciones en el epitelio ruminal y sirven como energéticos a las células animales (Shimada, 2003). Al ser los rumiantes animales herbívoros, la composición de su ingesta varía de acuerdo con las especies vegetales que consumen y el estado de madurez de las plantas. Sin embargo, en términos generales, los glúcidos estructurales constituyen alrededor del 75% de la materia seca de los forrajes tropicales (Shimada, 2003). Los glúcidos de reserva son primordialmente fructosanos en los pastos de regiones templadas, y almidones en los pastos y leguminosas de regiones tropicales (Sniffen *et al*, 1992). Los componentes estructurales de más importancia son la celulosa (20-30%), las hemicelulosas (14-17%), pectinas (10%) y lignina (10%) (Shimada, 2003). La relación celulosa a lignina (de 2-3:1) se hace más estrecha en la medida que aumenta la madurez del forraje, o sea, se incrementa el contenido de lignina al envejecer la planta. La celulosa y la lignina varían mucho con la edad de los forrajes, lo que afecta su digestibilidad (Van Soest, 1994; Shimada, 2003).



Foto: Elizabeth Benjumea.

En los animales que son muy buenos productores es frecuente la complementación de los forrajes con cantidades de granos cereales y melazas, ingredientes que proveen almidones y azúcares, respectivamente (Shimada, 2003).

Los glúcidos vegetales de reserva (fructosanos y almidones) son rápida y eficientemente digeridos por la microbiota del retículo-rumen. La celulosa se desdobra inicialmente por acción de celulasas a cadenas de anhidroglucosa, las que a su vez se hidrolizan para obtener celobiosa, la que se desdobra ya sea a glucosa por medio de una celobiasa, o a glucosa y glucosa-1-fosfato mediante una fosforilasa (Shimada, 2003). Las hemicelulosas están formadas por polímeros de pentosas, hexosas y ácidos urónicos. Su desdoblamiento por xilosidasas  $\beta$  1-4, produce xilooligosacáridos, xilobiosas y finalmente xilosas. Estas últimas son degradadas por transaldolasas y transcetolasas para obtener fructosa-6-fosfato y fosfotriosa, mismas que entran al proceso de glucólisis (ruta de Embden-Meyerhoff). Las pectinas se desdobl原因 por pectinestarasas a metanol (que posteriormente se convierte a metano) y ácido galacturónico, mismo que por descarboxilación produce pentosas, que

se desdoblan como las hemicelulosas (Shimada, 2003). Las polisacaridasas 1-4 atacan los almidones y los convierten en maltosas, las cuales se desdoblan a glucosa por medio de una maltasa, o a una glucosa y glucosa-1-fosfato por medio de una fosforilasa. En cuanto a la lignina, aunque no es propiamente un glúcido (alcohol polifenólico), su presencia reduce la digestibilidad de las paredes celulares de las plantas, porque protege sus glúcidos del ataque de las enzimas microbianas y gastrointestinales (Shimada, 2003).

Si la relación carbohidratos solubles/proteína degradable en rumen es inadecuada, el crecimiento microbial se verá limitado debido a desacoples energéticos (Gallo y Ceballos, 2005). Gallo y Ceballos (2005), cuando la relación carbohidratos solubles/proteína degradable es mayor de 6:1, se observa una reducción en el crecimiento microbial, así como de la degradación de la fibra y en la proteólisis. Agudelo (2008) afirma que la relación ideal es cinco partes de energía (TDN) por una de PC.

## Biosíntesis de los ácidos grasos volátiles

Los ácidos grasos volátiles, acético, propiónico y butírico a los que también se hace referencia como acetato, propionato y butirato, pues en el rumen



se encuentran en forma aniónica, son productos de desecho del metabolismo de la microbiota digestiva y constituyen el 80% de la energía que desaparece del rumen, tanto por absorción (de 80 a 90%) como por sobrepaso al omaso (de 10 a 20%); el 20% restante se elimina en forma de calor y como metano ( $\text{CH}_4$ ). Estos ácidos aportan entre 50 y 70% de la energía digestible del rumiante. Son diversos los factores que regulan su síntesis y concentración (que puede variar de 30 a 200 mM, aunque normalmente está entre 70 y 130 mM) y porcentaje relativo (promedio es de 70:20:10) (Shimada, 2003).

El ácido predominante es el acético y las dietas con forrajes altos en celulosa aumentan hacia la mezcla ácida, particularmente alta en acético. Conforme la proporción de los concentrados aumenta, la proporción del ácido acético disminuye y el propiónico aumenta. En dietas únicamente con concentrados la proporción del propiónico puede exceder a la del acético; sin embargo, aun con este tipo de dieta el acético predomina si los protozoarios ciliados del rumen sobreviven en grandes cantidades (Ramírez, 2003).

Foto: César Hernández O.



## Fermentación ruminal de la proteína

La digestión de los compuestos nitrogenados en el rumiante se efectúa en dos etapas: una es la hidrólisis de las proteínas y el nitrógeno no proteico por parte de las enzimas microbianas presentes en el retículo-rumen y la otra es el desdoblamiento de proteínas y péptidos que realizan las enzimas digestivas producidas por el abomaso y duodeno (Shimada, 2003). La composición del nitrógeno de la dieta es variable, sin embargo, los principales aportes son en forma de proteína "verdadera" (que se llama preformada para diferenciarla de la proteína microbiana que también es "verdadera") y como nitrógeno no proteico (NNP) en forma de urea, sales de amonio, ácidos nucleicos, amidas, aminas, aminoácidos y nitratos (Shimada, 2003).

Los microorganismos del rumen hidrolizan las proteínas, los péptidos y los aminoácidos, algunos de los cuales posteriormente se degradan a ácidos orgánicos, amoníaco y  $\text{CO}_2$ . Un ejemplo de la desaminación se tiene en la valina, que es convertida en ácido isobutírico. Entonces, los ácidos grasos volátiles de cadena ramificada que se encuentran en el rumen proceden de los aminoácidos. El amoníaco producido junto con los péptidos de cadena corta y los aminoácidos libres son utilizados por los microorganismos del rumen para sintetizar sus proteínas, que posteriormente se

digieren en el abomaso e intestino delgado. Un aspecto importante de la síntesis de proteína microbiana es que las bacterias pueden utilizar tanto aminoácidos indispensables como no indispensables, lo que asegura al animal hospedero un aporte de los primeros, independiente de su contenido en la dieta (Van Soest, 1994; Ramírez, 2003).

Según Sniffen *et al* (1992) y Shimada, (2003), independientemente de su origen, el nitrógeno presente en el retículo rumen puede clasificarse en cuatro grupos:

- **Nitrógeno no proteico soluble:** solubilidad instantánea (Fracción A).
- **Proteína de rápida degradación:** globulinas y albuminas (Fracción B<sub>1</sub>).
- **Proteína de lenta degradación:** albuminas y globulinas (Fracción B<sub>2</sub>), N disponible en pared celular (Fracción B<sub>3</sub>).
- **Proteína completamente no degradable:** N ligado a la lignina (Fracción C).

Las formas principales de NNP en el rumen son urea, nitratos, nitritos y ácidos nucleicos. La urea es hidrolizada por ureasas microbianas, con liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dos moléculas de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Los nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se oxidan a nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), después se convierten en un compuesto intermedio (nitrosilo HNO) antes de transformarse a hidroxiprolina y posteriormente a amonio. El nitrógeno de las bacterias se clasifica en dos porciones, 80% proteína y 20% ácidos nucleicos;

por lo tanto, en el rumen la mayor parte de estos últimos es de origen microbiano (Shimada, 2003).

La degradación proteica (preformada y microbial) en el medio ruminal se inicia básicamente con la acción de las enzimas extracelulares de origen bacteriano y la fagocitosis que llevan a cabo los protozoos, lo que es el resultado de la liberación de oligopéptidos o la formación de proteína de protozoarios, respectivamente. Las proteínas que escapan a la digestión ruminal se denominan proteínas sobrepasantes y continúan su flujo hacia los compartimentos posteriores del tubo gastrointestinal (Shimada, 2003). La microbiota ruminal tiene la capacidad para desdoblar moléculas de nitrógeno y glúcidos de diversos orígenes y tipos, desde los más complejos como las proteínas y los componentes de las paredes celulares, hasta los más simples como la urea y los azúcares (Shimada, 2003).

Al tomar como base el hecho de que la intensidad de la fermentación requiere la presencia simultánea de nitrógeno y de carbono, se puede entonces pensar en la necesidad de proporcionar la ingesta según su solubilidad, es decir, de acuerdo con el tiempo que tardan sus componentes en hacerse disponibles para los microbios del rumen. Por tanto, los glúcidos pueden dividirse en muy solubles como los azúcares, moderadamente solubles como los almidones y las pectinas y de solubilidad pequeña como la celulosa y las hemicelulosas. Las fuentes nitrogenadas solubles son la urea

y las sales de amonio, las de solubilidad moderada las pastas de oleaginosas y las poco solubles, las provenientes de los subproductos de origen animal y marino; de acuerdo con esto, la fermentación máxima lograría fuentes de nitrógeno y de glúcidos según su solubilidad (Shimada, 2003).

## Estrategias para mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno en sistemas de pastoreo

**B**ajo condiciones de pastoreo se recomienda:

- 1) Reducir la ingesta de N de la pastura.
- 2) Sincronizar el suministro de carbohidratos y de N en el rumen a través de los suplementos.
- 3) Uso de especies forrajeras altas en carbohidratos solubles o favoreciendo su concentración con el manejo (tasa de fertilización nitrogenada y edad de pastoreo) y bajos contenidos de PC (Pacheco *et al*, 2008; Keim *et al*, 2011).

- **Reducción de la ingesta de N en dietas a base de pasturas:** Una reducción del contenido de N en la pastura puede alcanzarse a través del manejo agronómico, tales como selección de especies que aporten un nivel bajo de N, lo cual es un proceso a largo plazo, reducción de la cantidad de N



Foto: Archivo COLANTA.

aplicado como fertilizante (fertilización estratégica en lechería FEL) o incremento en los intervalos de pastoreo (Peyraud & Astigarraga, 1998; Keim *et al*, 2011). Sin embargo, la reducción en la fertilización nitrogenada puede reducir el rendimiento en forraje y alargar demasiado los intervalos de pastoreo reduce la calidad nutricional de la pastura (Keim *et al*, 2011). Para evitar cambios bruscos en el rendimiento y calidad de la pastura, deben conocerse en forma detallada las condiciones de cada explotación (suelos, clima, pastos y forrajes, suplementación estratégica, razas de ganado, entre otros). Suministrar suplementos con baja PB es una alternativa para diluir la concentración del N dietario (Pacheco *et al*, 2008).

- **Mejorar el sincronismo ruminal entre los carbohidratos –CHOS– y el nitrógeno (N) ruminal:** El sincronismo ruminal entre los CHOS y el N se puede alcanzar por el cambio de las fuentes de estos nutrientes, cambiando los patrones de alimentación (tiempo de suplementación respecto al pastoreo) o de la frecuencia de alimentación (Cabrita *et al*, 2006). Un mejor sincronismo ruminal debería ser alcanzado en sistemas de pastoreo, cuando las fuentes de CHOS tiene una tasa de degradación entre 13 y 14% h<sup>-1</sup>, porque esta es similar a la tasa de degradación de la Proteína Degradable en Rumen — PDR— de las pasturas (Van Vuuren *et al*,

1990), aunque la tasa de degradación de la pastura puede variar según las circunstancias (Aufreere *et al*, 2003).



Foto: César Hernández O.

- **Incrementar la concentración de carbohidratos CHOS solubles en la pastura:** Un alto contenido de CHOS solubles en la pastura permite disminuir la ingesta de N y, a su vez, disminuye N urinario y N en leche, porque allí existe una relación inversa entre el contenido de azúcar y PB en los forrajes (Tas *et al*, 2006). Por lo tanto, los efectos benéficos de los forrajes con alto contenido en CHOS solubles debería de ser una consecuencia de un suministro alto de energía al rumen y bajo consumo de N (Taweel, 2006). Es posible mejorar la relación entre CHOS solubles/PC de la ración por reducción de la fertilización nitrogenada (Taweel, 2006), incrementando los intervalos de pastoreo (Peyraud & Astigarraga, 1998), usando especies o cultivares de pastos con alto contenido de azúcar (Miller *et al*, 2001), o ajustando el consumo de pasto

de acuerdo con los patrones diarios del contenido de CHOS solubles y PC de la planta (Trevaskys *et al*, 2004; Keim *et al*, 2011). La concentración de CHOS es más alta en los pastos en las horas de la tarde que en la mañana (Rutter *et al*, 2004; Hristov and Jouany, 2005; Rojo *et al*, 2012) como una consecuencia de la acumulación de azúcar (especialmente sucrosa), debido al proceso de fotosíntesis, en búsqueda de altos niveles cuando la tasa de fotosíntesis es igual a la de respiración (Keim *et al*, 2011). Mientras tanto, el contenido de PC es alto durante la mañana en comparación con la tarde, entonces allí existe una relación negativa entre CHOS solubles y el contenido de PC (Cosgrove *et al*, 2007). En teoría, se debe maximizar el CMS de pasto por el animal al atardecer, de este modo se mejoraría la eficiencia en la utilización del N (Keim *et al*, 2011).



Foto: Archivo COLANTA.

- **Uso de variedades altas en azúcar:**

La utilización de raigrás (*Lolium spp.*) especie de mecanismo fotosintético  $C_3$ , que posee capacidad anatómicamente para acumular un mayor nivel de CHOS solubles que el kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) (Rojo *et al*, 2012) es una alternativa. Investigadores como Miller *et al*, (2001) y Moorby *et al*, (2006) encontraron que bases forrajeras conformadas por raigrás mejoran la digestibilidad de la MS, la producción de leche y la eficiencia de utilización del N; reducen el N urinario y fecal y el N en leche (MUN). Una de las claves para mejorar el aporte de CHOS solubles en dietas para vacas en pastoreo en condiciones tropicales es la diversidad botánica en las praderas, aparte de kikuyo, trabajar con variedades de raigrás, pasto brasileiro (*Phalaris arundinacea L.*), falsa poa (*Holcus lanatus L.*), pasto azul ochoro (*Dactylis glomerata L.*), festuca alta (*Festuca arundinacea Schreb.*), festuca media (*Festuca elatior L.*), pasto oloroso (*Anthoxanthum odoratum L.*) y pasto rescate o triguillo (*Bromus catharticus Vahl*) en asociación estratégica con especies de leguminosas herbáceas como trébol blanco (*Trifolium repens L.*), trébol rojo (*Trifolium pratense L.*), lotus (*Lotus corniculatus L.*), y arbóreas como acacia negra (*Acacia decurrens* (J.C.Wendl.) Willd), acacia japonesa (*Acacia melanoxylon R.Br.*), la utilización de remolacha forrajera (*Beta vulgaris L.*) y avena forrajera (*Avena sativa L.*) puede mejorar el suministro de CHOS solubles en la dieta.

Foto: Juan Manuel Cerón



## Glosario

- **Aminoácidos:** Compuestos orgánicos que se combinan para la formación de proteínas.
- **Celulasas:** Enzimas complejas encargadas de desdoblar la celulosa, que es un carbohidrato estructural.
- **CHOS:** Carbohidratos solubles.
- **CMS:** Consumo de materia seca.
- **FEL:** Fertilización estratégica en lechería.
- **Fructanos:** Polímeros de fructosa derivados de la molécula de sacarosa.
- **Glúcidos:** Biomoléculas compuestas de carbono, hidrogeno y oxígeno (carbohidratos).
- **Lignina:** Alcohol polifenólico que hace parte de la pared celular de los vegetales.
- **MUN:** Nitrógeno ureico en leche.
- **N:** Nitrógeno.
- **PC:** Proteína cruda.
- **PDR:** Proteína degradable en rumen.
- **PM:** Proteína microbial.



Foto: Elizabeth Benjumea

## Referencias

- Agudelo, G.G. (2008). *Fundamentos de nutrición animal aplicada*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Aufrere, J., Graviou, D. & Demarquilly, C. (2003). Ruminal degradation of protein of cocksfoot and perennial ryegrass as affected by various stages of growth and conservation methods. *Animal Research*, 52, 245-261.
- Bakhashwain, A. A., Sallam, S.M.A. & Allam, A.M. (2010). Nutritive value assessment of some Saudi Arabian foliages by gas production technique in vitro. *Met. Env. & Arid Land Agric. Sci.*, 21, 65-80,
- Bendall, J.G. (2001). Aroma compounds of fresh milk from New Zealand cows fed different diets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4825-4832.
- Bolan, N.S., & Kemp, P.D. (2003). A review of factors affecting and prevention of pasture-induced nitrate toxicity in grazing animals. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 65, 171-178.
- Cabrita, A.R., Dewhurst, R.J., Abreu, J.M. & Fonseca, A.J. (2006). Evaluation of the effects of synchronizing the availability of N and energy on rumen function and production responses of dairy cows – a review. *Animal Research*, 55, 1-24.
- Chamberlain, D.G. & Choung, J.J. (1995). *The importance of rate of ruminal fermentation of energy sources in diets for dairy cows*. In P. C. Garnsworthy & D. J. A. Cole, (Eds), Recent advances in animal nutrition (pp. 3-27). Nottingham: University Press.
- Cosgrove, G.P., Burke, J.L., Death, A.F., Hickey, M.J., Pacheco, D. & Lane, G.A. (2007). Ryegrasses with increased soluble carbohydrates: evaluating the potential for dairy grazing dairy cows in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 69, 179-185.
- Cosgrove, G.P., Waghorn, G.C. & Parsons, A.J. (1999). Exploring the nutritional basis of preference and diet selection by sheep. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 61, 175-180.
- Gallo, M.J.A. & Ceballos, A. (2005). *Manipulación de la fermentación ruminal e implicaciones en el estado nutricional*. En Martha Pabón R. & Jorge Osso L. (Eds.), *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca* (pp. 67-87).
- Hristov, A.N. & Jouany, J.P. (2005). *Factors affecting the efficiency of nitrogen utilization in the rumen*. In Pfeffer, E., & A.N. Hristov (Eds.), *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle* (pp. 117-166). , Cambridge, USA: CABI Publishing.
- Keim, J.P. Anrique, R.(2011). Nutritional strategies to improve nitrogen use efficiency by grazing dairy cows, review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(4).
- Kolver, E.S., Muller, L.D., Barry, M.C. & Penno, J.W. (1998). Evaluation and application of the cornell net carbohydrate and protein system for dairy cows fed diets based on pasture. *Journal of Dairy Science*, 81, 2029-2039.
- Lee, A.W. (2002). Making your own fertilizer. *Acres USA*, 32(10), 38-39.
- López, O., Olivera, Y., Lamela L., T., Sánchez Montejo. I. L., Ronquillo, M. & Rojo-Rubio, R. (2014). Efecto de la suplementación con concentrado en la fermentación in vitro de dietas para vacas lecheras en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*, 37( 4), 426-434.
- Miller, C. (2000). Plant tissue analysis: understanding the nutritional of crops. *Acres USA*, 30(11), 28.
- Miller, L.A., Moorby, J.M., Davies, D.R., Humphreys, M.O., Scollan, N.D., MacRae, J.C. & Theodorou, M.K. (2001). Increased concentration of water soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): milk production from late-lactation dairy cows. *Grass and Forage Science* 56, 383-394.
- Miller, C. Synthetics in agriculture. (2000). *Acres USA*, 30(12), 11.

- Pacheco, D., Barrett, B.A., Cosgrove, G.P., Vibart, R.E. & Waghorn, G.C. (2008). *Optimising nitrogen utilisation in pastoral dairy farming: challenges and opportunities*. XXXIII Reunión Anual SOCHIPA. Valdivia, Chile: Sociedad Chilena de Producción Animal A.G.
- Peyraud, J.L., & Astigarraga, L. (1998). Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Animal Feed Science and Technology*, 72, 235-259.
- Ramírez, L.R.G. (2003). *Nutrición de rumiantes, sistemas intensivos*. México: Trillas.
- Rojó, J. M., Montoya, J.E. & Sierra, J.O. (2012). *Grados brix y pH en el jugo de la planta como medio para determinar la salud y calidad nutritiva en pastoreo*. Editorial Académica Española.
- Rutter, S.M., Orr, R.J., Yarrow, N.H. & Champion, R.A. (2004). Dietary preference of dairy cows grazing ryegrass and White clover. *Journal of Dairy Science*, 87,1317-1324.
- Shimada, A.M. (2005). *Nutrición animal*. México: Trillas.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J.D., Van Soest, P. J., Fox, D. G & Russell, J.B. (1992). A Net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 11, carbohydrate and protein availability. *Journal Animal Science*, 70(11), 3562-3577. Recuperado de [https://academic.oup.com/jas/search-results?page=1&q=A%20Net%20carbohydrate%20and%20protein%20system%20for%20evaluating%20cattle%20diets&fl\\_SitelD=6148&allJournals=1&SearchSourceType=1](https://academic.oup.com/jas/search-results?page=1&q=A%20Net%20carbohydrate%20and%20protein%20system%20for%20evaluating%20cattle%20diets&fl_SitelD=6148&allJournals=1&SearchSourceType=1)
- Tas, B.M., Taweel, H.Z., Smit, H.J. Elgersma, A., Dijkstra, J. & Tamminga. S. (2006). Effects of perennial ryegrass cultivars on milk yield and nitrogen utilization in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89, 3494-3500.
- Taweel, H.Z., Tas, B.M., Smit, H.J., Elgersma, A., Dijkstra, J. & Tamminga, S. (2006). Grazing behaviour, intake, rumen function and milk production of dairy cows offered Lolium perenne containing different levels of water-soluble carbohydrates. *Livestock Science*, 102,33-41.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutrition ecology of the ruminant*.(2a ed). New York: Cornell University.
- Van Vuuren, A.M., Tamminga, S. & Ketelaar, R.S. (1990). Ruminant availability of nitrogen and carbohydrates from fresh and preserved herbage in dairy cows. *Netherland Journal of Agricultural Science*, 38, 499-512.
- Yokoyama, M. & Jhonson, K.A. (1993). *Microbiología del rumen y del intestino*. En Church. D.C. (Eds), Fisiología digestiva y nutrición, (pp. 138 -156 ). Zaragoza, España: Acribia.
- Young Yanga, J., Seo, J., Kim, H.J., Seo, S. & Jong, K.H. (2010). Nutrient synchrony: is it a suitable strategy to improve nitrogen utilization and animal performance? *Asian-Aust. Journal Animal Science*,23(7), 972 – 979.
- Zadeh, J.B., Moradi kor, Z. & Moradi kor, N. (2013). Synchronization of energy and protein on supply synthesis microbial protein. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research* ISSN: 2322 - 4827, Volume 1, Issue 6, 2013: 594-600. Available online at <http://www.ijabbr.com>.

Foto: Pamela A. Escobar

