



AMBIENTE RUMINAL

EVOLUCIÓN DEL pH, AMONIO- AMONÍACO Y ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES (AGV)

Y SU EFECTO SOBRE LA SÍNTESIS DE PROTEÍNA MICROBIANA Y SU IMPACTO EN EL METABOLISMO DE BOVINOS PARA CARNE Y LECHE

Autor: Dr. Aníbal Fernández Mayer

AMBIENTE RUMINAL

Evolución del pH, Amonio-Amoníaco y AGV

Y su efecto sobre la síntesis de Proteína Microbiana y su impacto en el Metabolismo de bovinos para carne y leche¹

| ÍNDICE | |
|--|--------|
| Contenido | Página |
| Evolución del pH ruminal con diferentes tipos de dietas | 3 |
| Degradabilidad de la proteína en rumiantes | 5 |
| Efecto de la sincronización Energética-Proteica sobre el comportamiento Animal | 9 |
| Ejemplos prácticos de sincronización energía-proteína | 13 |
| 1º caso: Pasturas o verdeos en otoño-invierno | |
| 2º caso: Silaje de maíz o sorgo | |
| 3º caso: Pasturas o verdeos en primavera | |
| 4º caso: Pasturas o verdeos en verano | |
| Efectos del amonio (NH_4^+) – amoníaco (NH_3) sobre el metabolismo ruminal | 15 |
| Metabolismo del Amonio (NH_4^+) - Amoníaco (NH_3) | 20 |
| Pérdida de Nitrógeno en heces | 22 |
| Metabolismo hepático y reciclaje de Urea | 24 |
| Síntesis de Proteína Microbiana | 25 |
| Literaturas citadas | 28 |

1) Doctor en Ciencias Veterinarias especializado en Nutrición Animal (Ing. Agr. M.Sc.)
 Director Ejecutivo de la Consultora Internacional de Producción y Nutrición de bovinos
 (carne y leche). **Asesor Privado**. Sitio web: www.nutriciondebovinos.ar
WhatsApp: +5492923641420. afmayer56@yahoo.com.ar // resalancursos@gmail.com

EVOLUCIÓN DEL pH RUMINAL CON DIFERENTES TIPOS DE DIETAS

En las Tablas 1 y 2 y se presenta la evolución del pH ruminal ante diferentes eventos o consumos de alimentos y en diferentes sistemas productivos.

Tabla 1: Evolución del pH ruminal ante diferentes eventos

| Evento | pH ácido ($<6,8$) | pH óptimo ($6,8-7$) | pH alcalino (>7) |
|---|--|---|---|
| Ayuno prolongado | pH $<6,5$ (altos niveles de ácido láctico, AGV y NH_4^+) (riesgo de acidosis) | | |
| Realimentación “brusca” | pH $<6,5$ (altos niveles de ácido láctico, AGV y NH_4^+) (riesgo de acidosis) | | |
| Suplementación con Urea “sola” en la dieta | | | pH >7 (mayor producción NH_3 y riesgo de intoxicación) |
| Suplementación con Urea junto a granos de cereal o aditivo líquido rico en proteína, azúcares solubles y minerales¹ | | pH $6,8-7$ (mayor síntesis de bacterias y consumo) | |
| Suplementación con Bicarbonato de calcio o magnesio | | pH $6,8-7$ (mayor síntesis de bacterias y consumo) | |
| Suplementación con Aceites y Grasas | pH $<6,8$ afecta a las bacterias (tóxico) y provoca menor degradación de la fibra | | |

1) Nutriliq 2050 (Alianza Nutrientes) <https://www.alz-agro.com.ar/nutrientes-nutriliq.html>

Tabla 2: Evolución del pH ruminal en Engorde Pastoril y a Corral

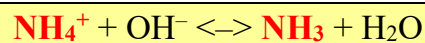
| Evento | pH ácido ($<6,8$) | pH óptimo ($6,8-7$) | pH alcalino (>7) |
|---|--|--|--|
| Forrajes frescos tiernos (verdeos de invierno, ray grass y pasturas con “alta humedad”) y elevado nivel de Proteína soluble ($>70\%$) | pH $<6,5$ (menor producción de saliva y mayores niveles de NH_4^+) | | |
| Forrajes de baja calidad (altos niveles de FDN y FDA) (rastros de cosecha fina y gruesa, campo natural, etc.) | | | pH >7 (mayor producción de saliva y NH_3) |
| Alta suplementación con granos de cereal (almidón) (mayor del 1,5% del Peso Vivo) (Engordes a corral y Pastoriles con forrajes muy tiernos y alta suplementación con granos) | pH $<6,5$ (alta % de AGV, mayores niveles de NH_4^+) (riegos de acidosis) | | |
| Consumo de Fibra “larga” (mayor 2 cm) (sistemas pastoriles o Engordes a corral con henos sin moler) | | pH $6,8-7$ (mayor producción de saliva, NH_3 y AGV -acetatos y propionatos-) | |
| Consumo de Fibra “corta” (menor 2 cm) (Engordes a corral con henos molidos o Silajes de planta entera con picado menor a 2cm) | pH $<6,8$ (menor digestibilidad del forraje y mayores niveles de NH_4^+) | | |
| Ración Totalmente Mezclada (TMR) | | pH $6,8-7$ (mayor prod. de saliva, NH_4^+ y AGV) (alta sincronización Energía-Proteína) | |

DEGRADABILIDAD DE LA PROTEÍNA EN RUMIANTES

El nitrógeno (N) presente en los alimentos que componen la dieta de los rumiantes se presenta en forma de proteínas, aminoácidos y compuestos nitrogenados no proteínicos (NNP). Entre estos últimos destacan la **urea, sales de amonio, nitratos y ácidos nucleicos** de origen vegetal o animal (Huntington y Archibeque, 2000).

En el **rumen**, gran parte de las **proteínas rápidamente degradables (PRD)** presentes en los alimentos son transformadas por **amonificación a NNP**, principalmente **amonio-amoníaco ($\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$)**, resultante del proceso fermentativo bacteriano, sirviendo como principal fuente de N en la síntesis de proteína microbiana (Reynolds, 1992).

En el ambiente ruminal existe un estado dinámico entre el **NH_4^+ - NH_3** estando en ambas formas en forma simultánea



Cuando el **pH del rumen** es **bajo (menor de 7)**, la reacción se *desplaza a la izquierda* (**$+\text{NH}_4^+$**). Mientras que la reacción se *desplaza a la derecha* (**$+\text{NH}_3$**) cuando el **pH** es **alto (mayor de 7)**.

El **$\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$** es el principal producto de origen nitrogenado resultante del proceso fermentativo bacteriano y utilizado como la principal **fuentes de N** para la **síntesis de proteína microbiana** (Bergman y Hogue, 1967).


Cuando existe un **desequilibrio** entre el consumo de **energía** y el de **Proteína soluble (PRD)**, producto de un aporte **limitado** en **energía** o **elevado** de **PRD** (ejemplos: verdeos de invierno o alfalfas o ray grass muy tiernos), la **concentración** de **NH₃ ruminal** se **incrementa**, **alcalinizando** el **pH** (**mayor de 7**) ya que se **excede** la **capacidad** de los **microbios ruminales** para utilizarlo y transformarlo en **proteína microbiana** (Sinclair et al, 2000).

En cambio, cuando el **pH** es **inferior** a **6.7**, como sucede con dietas con **moderado a alto** contenido de **azúcares solubles** o de **almidón (granos)**, se **incrementan** los niveles de **NH₄⁺**, el cual es **hidrosoluble** y, consecuentemente, se **reduce** la **absorción ruminal**.

Esto garantizaría **menores** **peligros de toxicidad** (Huntington y Archibeque, 2000).

Esto ocurre en los **sistemas pastoriles** con **forrajes frescos tiernos** (verdeos o pasturas), especialmente ricos en **gramíneas** en los primeros **estados juveniles**.

Otro escenario ocurre cuando el **pH** del rumen **supera 7** (**alcalosis**), donde la **velocidad de absorción** es **mayor**, debido a que se **incrementa** la **conversión** de **NH₄⁺** en **nitrógeno amoniacal (N-NH₃) o amoníaco**, que es **liposoluble** y fácilmente **absorbido por la pared ruminal** (Haliburton y Morgan, 1989).

La **hidrólisis de la urea**  **NH₃ + CO₂** es catalizada por la **ureasa** (49°C y pH óptimo 7,7-8).

Los **rumiantes** precisan **varios días** para incorporar el **NH₃** a la **proteína microbiana**.

El **NH₃** es **absorbido** y pasa a la sangre **más rápido** con **pH ruminal** es **8** o **superior**.

TOXICO

Con **pH 6,5** o **inferior**, el **NH₄⁺** se **absorbe** **más lentamente** a través de la **pared gastrointestinal**.

NO TÓXICO

La **captación del N-NH_3** por parte de las **bacterias ruminales** depende, entre otros requisitos, de la **sincronización** entre la degradación de los **hidratos de carbono solubles**, y la degradación de la **proteína**.

El aporte energético debe estar como **energía rápidamente disponible**, como la proveniente de **azúcares solubles** para que los microbios crezcan y capten la explosiva liberación del **NH_3** , proveniente de la **alta y rápida degradación de la proteína** del forraje.

En las Figuras 1 y 2 se muestra la generación de los picos de **amoníaco** y de **ácidos grasos volátiles** (AGV) cuando se suministra **urea** y un **grano de cereal molido** (Figura 1) respecto suministrando un **grano entero** (Figura 2).

Figura 2: Evolución del amoníaco de la Urea y el AGV de un grano de cereal “molido”



En la Figura 2 se observa la **sincronización** en el tiempo entre el **amoníaco** y los **ácidos grasos volátiles** de los **granos**.

En tanto en la Figura 3, hay **falta de sincronización** de varias **horas entre ambos picos**, perdiéndose el **amoníaco** como **urea** en **orina**, básicamente, aunque una parte se recicla al rumen a través de la saliva, y los **AGV** como **calor** a través de la **transpiración**.

Esto mismo ocurre cuando **faltan hidratos de carbono solubles** (azúcares) para el crecimiento microbiano, como ocurre con las **pasturas y verdes de invierno en otoño**. En este caso, también, se produce una **asincronía** entre la disponibilidad de **energía (AGV)** y de **nitrógeno amoniacal (N-NH₃)**.

Figura 3: Evolución del amoníaco de la Urea y el AGV de un grano de cereal “entero”



Parte del **amoníaco libre** existente en el rumen se **absorbe directamente a través del epitelio del rumen**, hasta la **sangre**; el resto (en la mayoría de los casos, la mayor parte), pasa con los alimentos digeridos hasta el intestino donde es absorbido, llega a la sangre y luego al hígado (Garriz y López, 2002).

Esto hace que la **captación del nitrógeno** por parte de los **microorganismos** sea **menor** que el **amoníaco liberado**, por lo cual la concentración de **NH₃ aumenta** en el licor ruminal.

El **amoníaco (NH₃)**, especialmente, es utilizado por los microorganismos si existe suficiente energía (carbohidratos), para la síntesis de proteínas y demás componentes de las células microbianas como los componentes nitrogenados de la pared celular y los ácidos nucleicos. Si bien el **amoníaco** es la fuente principal de nitrógeno para los microorganismos, hay especies de bacterias que obtienen un alto porcentaje (20-50 %) de su **nitrógeno total** a partir de aminoácidos y péptidos.

Por esto, se logra una mayor síntesis de proteína microbiana y una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno, cuando las dietas con alto contenido de NNP son suplementadas con proteína verdadera.

EFFECTO DE LA SINCRONIZACIÓN ENERGÉTICA-PROTEICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO ANIMAL

La **energía metabolizable (EM)** de un alimento puede afectarse significativamente de acuerdo al nivel de consumo. A medida que se incrementa el consumo de MS se **reduce** la **EM** de la ingesta, producto de un aumento en la tasa de pasaje.

En estos casos, cuando el abastecimiento de **energía** es **inadecuado**, el animal recurre a la ***fermentación de la proteína verdadera dietaria*** para generar ***energía, incrementándose*** la producción de **N-NH₃**. Esta situación trae aparejado una disminución en la utilización de este compuesto y con él, una **ineficiencia** en el uso de la **proteína verdadera dietaria** al aumentar las pérdidas de nitrógeno en orina.

Un proceso inverso ocurre en **dietas con alta densidad energética**, como los **granos o concentrados**. Con estos suplementos se requiere una menor ingestión de MS para satisfacer las demandas en **energía metabolizable** del animal. Por ello, en estos casos, se debe **eleva**r la concentración **proteica** de la ración al *disminuir el consumo de MS total* (Broster y Oldham, 1988).

Si no se corrige esta **deficiencia de nitrógeno** respecto al **consumo de energía** (AGV) se puede afectar la síntesis de **proteína bruta microbiana** (PBM) al generarse un ambiente inapropiado, en especial, al producirse un exceso de **acetatos y butiratos**. Estos AGV pueden perderse en una gran parte como **calor -ciclo cítrico o Krebs-**, a nivel de las células microbianas (Nocek y Russell, 1988).

Todo indica que una **óptima sincronización**, en tiempo y forma, entre los AGV y **proteína degradable en rumen** (PDR) mejoraría la eficiencia y cantidad de PBM.

Broster y Oldham (1988) sintetizaron la relación entre el consumo de energía, medido en distintos parámetros, con la cantidad de proteína o nitrógeno microbiano sintetizado.

- 106 gr. PBM/ kg de TND
- 200 gr. PBM/Kg de materia orgánica digestible
- 1.37 gr. de nitrógeno microbiano/MJ EM

Estos resultados indicarían que existe una correlación positiva entre la síntesis de PBM, la digestión del alimento y el consumo de PDR. Esto fue confirmado en un estudio llevado por Aldrich et al (1997) quienes hallaron que la **digestión de la MS, la de los azúcares solubles y de la proteína**, realizada por los **microorganismos ruminales**, aumentaba a medida que se **incrementaba** el nivel de **PDR**.

En síntesis, para un **máximo crecimiento de los microorganismos ruminales** se requiere un nivel adecuado de **carbohidratos estructurales y no estructurales** con una fuente de **Proteína soluble** apropiada y, fundamentalmente, que exista un **encuentro simultáneo de ambos componentes -metabolitos energéticos y proteicos-**.

Normalmente, en el sistema a corral se mezclan todos los ingredientes de la dieta en un mixer (TMR), llegando al rumen, en forma simultánea, los diferentes componentes del alimento (Tabla 4). De esta manera, se desarrollan los distintos procesos metabólicos favorecidos por el sincronismo energía-proteína. Asimismo, se amortiguan las fluctuaciones del pH ruminal, mejorando el desarrollo de los microorganismos y con ellos, la digestión de la fibra (AGV).

En cambio, esto no ocurre en el sistema pastoril, donde es casi imposible que se produzca un encuentro simultáneo, entre los distintos componentes de la dieta, a nivel ruminal. Esta es una de las principales diferencias entre ambos sistemas, lo que ocasiona menores ganancias de peso o producciones de leche respecto al sistema anterior.

Además, la **sincronización energía-proteína** se requiere, entre otras cosas, para una adecuada síntesis de proteína, tanto muscular, tisular como láctea, ya que éste es el proceso metabólico que tiene la **mayor demanda de energía metabolizable (3 a 5 ATP/ cadena peptídica sintetizada)** (Paquay et al, 1973).

Asimismo, habría una variación de los requerimientos de sincronización energía-proteína según el estado de la lactancia. En un estudio llevado a cabo por Paquay et al, (1973) utilizando vacas lecheras, encontraron que la relación óptima energía/ proteína disminuye con el tiempo a partir del parto (Tabla 3).

**Tabla 3: Relación óptima Proteína: Energía
en función de la fase de lactación**

| Meses de lactación | Relación óptima g Proteína Digestible/MJ EM |
|--------------------|--|
| 1-3 meses | 13,75 g PD/MJ EM |
| 4-5 meses | 15 g PD/MJ EM |
| 6-7 meses | 10,6 g PD/MJ EM |
| 8-9 meses | 10,6 g PD/MJ EM |
| +10 meses | 8 g PD/MJ EM |
| promedio | 12,5 g PD/ MJ EM |

Nota: 1 MJ=4.73 Mcal Fuente: Paquay et al (1973)

Con una dieta bien balanceada en proteína (degradable y no degradable), los niveles de urea en leche nunca deben ser mayores a 300 mg por litro de leche (30 mg/dl)¹.

- **Déficit de proteína degradable: menor a 150 mg/litro (menor 15 mg/dl)**
(FALTA de PROTEÍNA)
- **Relación Óptima Energía-Proteína: 150 – 300 mg/litro (15 a 30 mg/dl)**
(Energía-Proteína de la dieta está BALANCEADA)
- **Exceso de proteína degradable: mayor de 300 mg/litro (mayor 30 mg/dl)**
(FALTA de ENERGÍA)

En la Tabla 4 se presenta los diferentes niveles de UREA (MUN - nitrógeno ureico de la leche-) y de la sangre y su relación con el balance Energía-Proteína de la dieta.

1) Antonio González Rodríguez^a y Orlando Vázquez Yáñez^b (2000). El análisis de urea en leche como indicador del balance nutritivo de la alimentación de las vacas.

a) Centro de investigación Agrarias Mabegondo y b) Instituto láctea Gandeiro galego

Tabla 4: Niveles de UREA en leche o sangre y su relación con el balancea Energía-Proteína de la dieta

| Niveles de Urea en Leche (MUN) o Sangre | Calificación | Interpretación |
|---|--------------|---|
| <9 mg/dl (90 mg/l) | Deficiente | Falta Proteína en la dieta. |
| 9-12 mg/dl (90-120 mg/l) | Bueno | Buena relación Proteína-Energía en la dieta |
| 12-15 mg/dl (120-150 mg/l) | Excelente | Excelente balance Proteína-Energía |
| 15-18 mg/dl (150-180 mg/l) | Bueno | Buena relación Proteína-Energía |
| 18-21 mg/dl (180-210 mg/l) | Regular | Falta Energía. Se pierde Proteína en orina. |
| >21 mg/dl (>210 mg/l) | Deficiente | Dieta desbalanceada. Energía-Proteína |

Ejemplos prácticos de sincronización energía-proteína

En la práctica, la sincronización entre la **energía metabolizable** y la **proteína** de la dieta puede mejorar significativamente la performance animal. A continuación, se describirán algunos casos posibles de encontrar a nivel de campo.

1° caso: Pasturas o verdeos en otoño-invierno

Los **verdeos o pasturas**, especialmente en **otoño-invierno**, se caracterizan por tener un **alto contenido proteico** y **rápidamente degradable en rumen**, (proteína soluble >80%). En este sitio se genera una alta proporción de compuestos **nitrogenados solubles** (N-NH₃, péptidos, NNP y AA).

Para captar ese **nitrógeno** disponible en rumen se debiera elegir una fuente rica en **azúcares solubles**, altamente fermentable (AGV) en este lugar, como el maíz con alta humedad (Silaje de grano húmedo), grano de cebada, de trigo, corn steam flaked y el Nutrilq (aditivo líquido rico en energía de rápida degradación, proteína soluble proveniente de la Urea y minerales). Es importantísimo, además, buscar que coincidan a lo largo del día dichos metabolitos proteicos y energéticos en los sitios de correspondientes, rumen, intestino delgado a nivel tisular.

2º caso: Silaje de maíz o sorgo

En cambio, si se dispone de **Silaje de maíz o sorgo** (ricos en **energía** proveniente de almidón y AGV) se lo debiera combinar con una fuente que contenga un apropiado nivel de **proteína degradable** en aquel sitio (PDR y NNP) como, por ejemplo, los verdeos de invierno o pasturas. En tanto, los suplementos de origen vegetal posibles a usar, para corregir el desbalance existente, están las harinas de oleaginosas, como la de soja, girasol o colza o aditivos como el Nutrilq. Y en los de origen animal, se destaca la harina de pescado, especialmente en vacas lecheras de alta producción.

3º caso: Pasturas o verdeos en primavera

Si bien las **pasturas y los verdeos en primavera -octubre y noviembre-** tienen un **adecuado balance**, entre los **carbohidratos y la proteína soluble**, en algunas oportunidades no son suficientes como, por ejemplo, cuando se trabaja con animales de altos requerimientos - vacas lecheras de alta producción (> 25 kg/d) o invernadas rápidas, especialmente si son animales jóvenes (< 250 kg PV/cab) con altas ganancias de peso (> 1.5 kg PV/d) -.

En estas situaciones, es necesario emplear algún suplemento corrector (rico en almidón y en proteína con baja degradabilidad ruminal) en forma proporcional a las demandas de los animales.

Por ejemplo, grano de maíz o sorgo y harinas de origen vegetal (harinas de oleaginosas, como la de girasol o soja). Sin embargo, se han obtenido muy buenos resultados empleando otros granos como avena, cebada o trigo.

4º caso: Pasturas o verdeos en verano

En verano, las pasturas o verdeos (sorgos, moha o mijo) se caracterizan por tener una alta proporción de fibra, la cual se lignifica con facilidad a medida que madura el cultivo, disminuyendo de esta forma la digestibilidad de la misma.

Hasta el momento, la información es insuficiente sobre cual o cuales son los suplementos correctores más apropiados, sugiriéndose entre ellos, el **Silaje de cebada, trigo o avena** confeccionados en **octubre-noviembre**, con panoja o espiga embuchada o recién emergidas ($\pm 10\%$). También, existen algunos resultados promisorios con el empleo de suplementos proteicos con alta degradabilidad ruminal, y en otros casos, con suplementos almidonosos –granos-. No obstante, se debe continuar trabajando en este tema para definir con mayor exactitud las posibles alternativas nutricionales a emplear.

EFFECTOS DEL AMONIO (NH_4^+) – AMONÍACO (NH_3) SOBRE EL METABOLISMO RUMINAL

Como se dijo más arriba, la tasa de absorción del **amonio** (NH_4^+) o del **amoníaco** (NH_3) a través de las *paredes del rumen* es dependiente del **pH** y de la **concentración de amonio o amoníaco**.

La **absorción** es **lenta** a **pH 6.5 o menor** (como NH_4^+), hay **menor peligro de toxicidad**, declinando a medida que éste descende, haciéndose **nula** con **pH de 4.5**.

Mientras que pasa a la sangre **más rápido** con **pH ruminal 8 o superior**. (como NH_3), habiendo **mayor peligro de toxicidad y muerte**.

En síntesis, la **absorción** del **amoníaco** (NH_3) o del **amonio** (NH_4^+), a través de la **pared ruminal** depende casi enteramente de su **concentración en rumen**.

Esto depende del **pH** existente en el rumen (a **mayor pH mayor absorción**), y si éste es **inferior a 7**, la **absorción** a través de la pared del rumen **no** es tan **alta**.

Cómo se dijera anteriormente, cuando la cantidad de **amoníaco** es elevada, el **exceso de amoníaco** se absorbe por medio de las **paredes del tracto**. Posteriormente se convierte en **urea** en el **hígado** que se **recicla** al **rumen** para utilizarse por parte de los **microorganismos** o se **excreta** en la **orina** con la consecuente pérdida de N.

El NH_3 es **absorbido** a través de la **pared del rumen** por *difusión pasiva* y, la cantidad absorbida está en función de la concentración de éste en el contenido ruminal y su pH. La dependencia de la velocidad de absorción del NH_3 sobre el **pH** está regido por el comportamiento del NH_3 como una base débil.

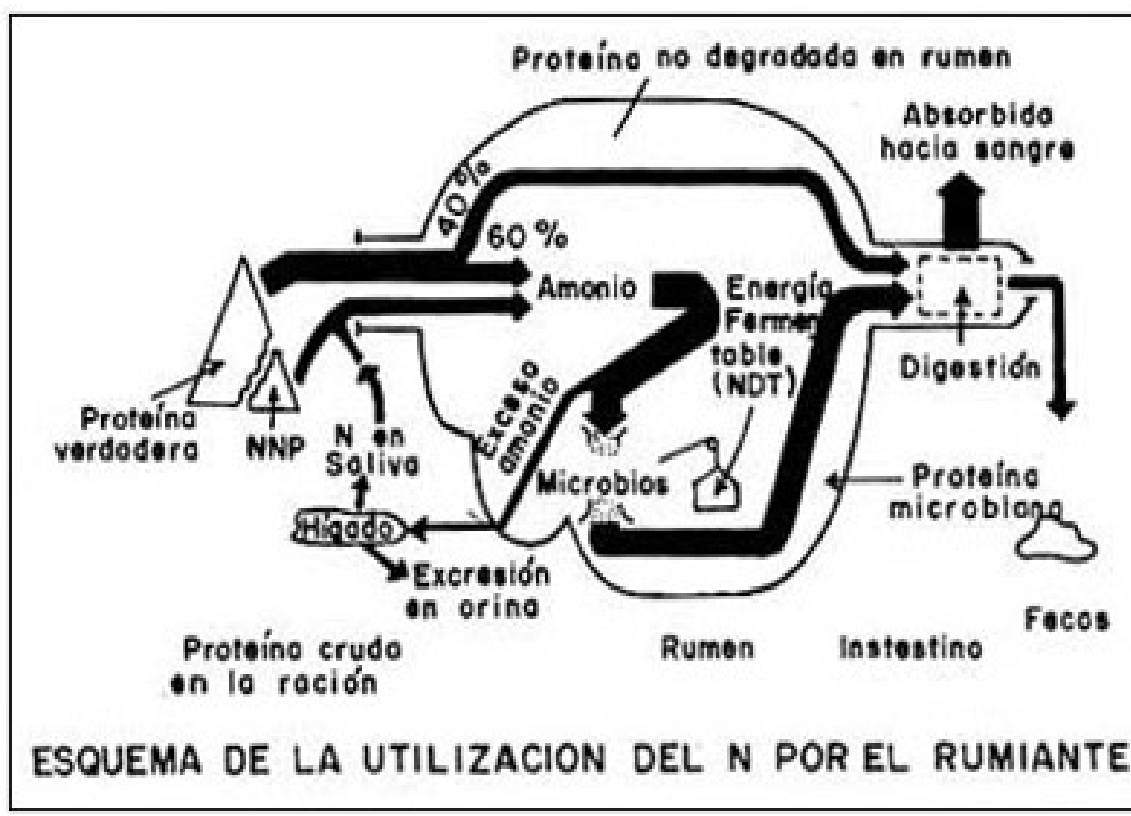
El **grado de ionización** es altamente dependiente del **pH**. Así, la proporción de NH_3 **libre** vs NH_4^+ se **incrementa** a **pH alcalino**. La **velocidad de transporte** del NH_4^+ a través de la **pared del rumen** es **tres veces mayor** a **pH 6.5** que a **pH de 4.5**.

El **hígado** tiene la capacidad de convertir este **amoníaco** en **urea** que es una forma **menos tóxica** que el **amoníaco** y, así ser eliminado del organismo a través de la **orina** o ser **reciclado hacia el interior del rumen**, vía **glándulas salivales** (como parte del sistema amortiguador para el rumen), o **secretarse** a través de la pared del rumen como un **sustrato nitrogenado para las bacterias** (Figuras 4 y 5).

Figura 4: Ciclo del nitrógeno



Figura 5: Utilización del Nitrógeno por el rumiante



Como se dijo, la **absorción** de **amonio o amoníaco** se incrementa como aumenta la concentración ruminal de este compuesto. Sin embargo, se encontró **efectos tóxicos** por altas concentraciones de **amoníaco** cuando éstas **superan** los **40 mg/dl de licor ruminal**, con un **pH ruminal arriba de 8** y una concentración de **amonio** en el plasma sanguíneo cercano a **2 mg/dl** (Aldrich, 1998).

La concentración de **amoníaco (NH₃)** aumenta consumiendo forrajes otoñales, *Silajes de pasturas, pasturas de alfalfa, forrajes en rebrote temprano y forrajes tiernos fertilizados con altas dosis de nitrógeno*. En todos estos casos la concentración puede llegar a **40 a 60 mg N-NH₃ /dl**, cuando en condiciones normales varía entre **5 a 15 mg/dl** (Di Marco y Aello, 2002).

Cuando **supera** la concentración de **40 ml N-NH₃/dl de licor ruminal** la **tasa de absorción** es **muy alta** existiendo **graves peligros de intoxicación** (Huntington y Archibeque, 2000).

Este fenómeno ocurre cuando se favorece la **alcalinización ruminal**:

- a) dietas con **bajo contenido de carbohidratos solubles**.
- b) **alta** ingesta de **Nitrógeno No Proteico (NNP)** o de **Proteína soluble**.

Todos estos factores predisponen al **incremento de la absorción del NH₃** y con los peligros de intoxicación.

Los **niveles de amoníaco** extremadamente altos en el rumen **elevan el pH**, su absorción y van unidos a altos niveles de amoníaco en sangre; esto provoca una **intoxicación por amoníaco** que puede llevar a la muerte. Es el caso de una suplementación excesiva con urea.

Por otra parte, el empleo adecuado de **urea** como sustituto parcial de la proteína en la nutrición de los rumiantes resulta beneficioso, siempre que se aporte una adecuada **energía**.

Los síntomas de **intoxicación por amoníaco** son:

- salivación excesiva,
- dificultad para respirar,
- alteración de la coordinación motora,
- temblores musculares,
- timpanismo,
- convulsiones,
- mugidos,
- rigidez en las patas delanteras
- muerte.

Si no se trata inmediatamente, el animal morirá en un lapso de 3 horas. En los bovinos el tratamiento común de este tipo de intoxicación, consiste en suministrar por vía oral una solución de **2 o 3 litros de vinagre** ($\pm 10\%$) disueltos en **20 o 30 litros de agua fresca**, antes que el animal alcance la etapa de rigidez muscular.

La **adaptación** del animal a la dieta con **urea** requiere aproximadamente **10 días a dos semanas**.

A continuación, se describen las pautas para lograr una adecuada adaptación.

PAUTAS A SEGUIR PARA UNA ADECUADA ADAPTACIÓN

A LA UREA

*Se debe suministrar a todos los vacunos con **más de 180 kg peso vivo (PV)/cabeza**, es decir, posterior al destete tradicional.*

Habría **3 alternativas** para el empleo de la UREA sin correr ningún riesgo.

1. 50 gramos cada 100 kg PV

Ejemplo: un novillo de 300 kg peso vivo puede comer hasta **150 gramos de Urea/cabeza/día**, mezclada con un grano de cereal “molido” a razón del **0.5% del PV**, es decir, **1.5 a 2 kg grano “molido” /cabeza/día**, 2 veces por día.

Esta es la mejor forma y segura de suministrar Urea en la dieta.

2. Agregar hasta el 2% UREA en un alimento balanceado (AB)

Es decir, 20 kg Urea cada 980 kg de concentrados del A.B.

3. Mezcla de grano + UREA: 0,03% del PV de UREA, siempre con un mínimo de 0.5% del PV de grano molido y repartido 2 veces por día.

METABOLISMO DEL AMONIO (NH_4^+) - AMONÍACO (NH_3)

La concentración de $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$ en el licor ruminal, en especial con dietas ricas en **proteína solubles** (ejemplo: verdeos de invierno o pasturas muy tiernas), se eleva rápidamente alcanzando un máximo a las **2 o 3 horas** después de la alimentación, tiempo que varía según el tipo de alimento (Mackle et al. 1996).

Mientras que cuando se suplementa con **nitrógeno no proteico** (NNP), como la **urea**, el **pico** de **$\text{NH}_4^+\text{-NH}_3$ ruminal** se adelanta a la **primera hora** posterior al consumo de ese NNP (Figuras 2 y 3) (Henning et al. 1993).

El **efecto tóxico del NH_3** en los rumiantes es controlado mediante un mecanismo de **conversión por el hígado**, a productos **no tóxicos** y de **excreción** (Visel, 1979). Después de la absorción, el **NH_3** llega al **hígado vía vena porta**, donde gran parte se convierte en **urea**, compuesto **40 veces menos tóxico**.

El **NH_3** restante, no metabolizado a urea, es incorporado a glutamina (aminoácido), que por contener dos grupos aminos sirve como transportador no tóxico del **NH_3** , favoreciendo su excreción en la orina (Huntington y Archibeque, 2000).

El hígado, por su heterogeneidad en morfología y características bioquímicas, presenta algunas particularidades en relación con el metabolismo del **$\text{NH}_4^+\text{-NH}_3$** . Los **hepatocitos periportales**, que primeramente reciben la sangre de la vena porta, contienen las **cinco enzimas ureagénicas**, y la **glutaminasa mitocondrial** (glutamina \Rightarrow glutamato). Además, son los responsables de la gluconeogénesis (Mazzaferro et al. 2000).

En cambio, los **hepatocitos perivenosos**, que se distribuyen en torno a la vena hepática, no presentan las enzimas ureagénicas ni la glutaminasa mitocondrial. Sin embargo, ellos poseen la enzima glutamina sintetasa citosólica (GS), que convierte glutamato en glutamina, y el transportador X_{ag} para el ingreso a la célula del glutamato y aspartato (Haussinger, 1990 y Katz, 1992).

Esta organización secuencial permite una eficiente metabolización y remoción del **$\text{NH}_4^+\text{-NH}_3$** circulante, ya que el amoniaco no metabolizado en los hepatocitos periportales llega a los hepatocitos perivenosos, donde es incorporado a glutamina. En términos funcionales, la ureagénesis y la síntesis de glutamina presentan diferencias; la **ureagénesis** es un sistema de *baja afinidad* y con alta capacidad desintoxicante para **$\text{NH}_4^+\text{-NH}_3$** .

Mientras que la **síntesis de glutamina** presenta *alta afinidad*, pero baja capacidad para desintoxicar el $\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$ (Reynolds, 1992).

En concentraciones fisiológicas de $\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$ (200–300 $\mu\text{M/l}$), cerca de 2/3 del $\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$ es convertido en **urea** y 1/3 en **glutamina** (Haussinger, 1990). Estudios con la adición de $\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$ en hepatocitos ovinos demuestran una liberación semejante de Nitrógeno vía urea o glutamina (Lobley et al. 2000.).

En rumiantes, la efectividad de la remoción del $\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$ como **urea** o como **glutamina**, asegura que aproximadamente **98%** del $\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$ presente en la vena porta sea removido durante su paso por el hígado. De modo que esos sistemas son considerados vitales para la manutención de una baja amonemia en la sangre periférica (Huntington y Archibeque, 2000).

En síntesis, habría **2 vía de remoción** del $\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$ en el **hígado**, uno a través de la **urea** (ureagénesis) y el otro a través de la **glutamina**.

PÉRDIDA DE NITRÓGENO EN HECES¹

Aproximadamente el **80% de la proteína** que alcanza el **intestino delgado** es **digerida** y la **no digerida** es **eliminada** en las **heces** ($\pm 20\%$).

En las heces se encuentra:

- a) **nitrógeno no digerido**
- b) **secreciones enzimáticas intestinales**
- c) **descamación de las células intestinales**
- d) **nitrógeno** proveniente de las **bacterias** originadas en **intestino grueso**.

Esta última pérdida de nitrógeno, depende de la cantidad de materia orgánica que puede ser fermentada en ese sitio, especialmente **almidón no digerido de los granos**.

Como promedio, **por cada kg de MS ingerida**, se produce un incremento de **33 g de proteína endógena** perdida en las heces.

En la Tabla 5 se presentan las pérdidas en heces de materia seca (MS), proteína, almidón y fibras (FDN y FDA) en un trabajo realizado en un tambo en la provincia de Córdoba (Argentina) los resultados obtenidos

Tabla 5: Pérdidas en heces de los diferentes parámetros nutricionales en un tambo comercial.

| Evaluación de las pérdidas de nutrientes en las heces (bosta o materia fecal) | | | | | | |
|--|--|--|--|--|---------------------------------------|---|
| Vacas lecheras de 38 l leche/vaca ordeño –VO–/día | | | | | | |
| 25 kg/VO/día Silaje de Maíz + 5 kg Silaje de Triticale/VO/día + 6,5 kg Gluten Feed/VO/día + 4 kg Alfalfa picada/VO/día + 1 kg Nutriliq 2050/VO/día + 9 kg Ración/VO/día (54,9% grano de maíz + 44,9% harina de soja + 0,2% levaduras) + 0,45 kg sales minerales/VO/día | | | | | | |
| DIETA | Consumo MS (kg MS/VO/día) (% MS dieta) | Consumo PB (kg PB/VO/día) (% PB dieta) | Consumo EM (Mcal EM/VO/día) (% Digestibilidad) | Consumo Almidón (kg/VO/día) (%) | Consumo FDN (kg/VO/día) (%) | Consumo FDA (kg/VO/día) (%) |
| Dieta TMR (Total Ración Mezclada) | 23,5 kg MS (44,6%) | 3,65 kg PB (16%) | 59,2 Mcal EM (70%) | 2,8 kg (11,9%) | 9,8 kg (42%) | 6,6 kg (28,4%) |
| HECES | Pérdida MS (kg MS/VO/día) (% MS heces) | Pérdida PB (kg PB/VO/día) (% PB heces) | | Pérdida de Almidón (kg/VO/día) (% Almidón) | Pérdida FDN (kg/VO/día) (% FDN) | Pérdida FDA (kg/VO/día) (% FDA heces) |
| HECES | 7 kg MS (13,3%) | 1,1 kg PB (16,1%) | | 0,33 kg (4,7%) | 4,4 kg (53,4%) | 2,8 kg (34%) |
| PÉRDIDAS | 30% ↓ | 30% ↓ | | 11,8% ↓ | 44,9% ↓ | 42,4% ↓ |
| | Materia seca | Proteína | | Almidón | Fibras (FDN y FDA) | |
| <div>Referencias: Análisis realizados por GPSA (Grupo Pilar) mayo 2021 Datos: VO: vaca ordeño, MS: materia seca, PB: proteína bruta, EM: energía metabolizable, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido</div> <div>Dr. Gregorio Salcedo (2020) Concentración de nutrientes en heces de vacas lecheras y novillas según el tipo de conservante empleado en ensilados de hierba. pdf chrome-extension://efldnkhmmnnlbpcajppgldcfndmkaaj/reviewer.html?pdfurl= http%3A%2F%2Fsanveterinaria.net%2Fweb_azooncomunicacion_902Fcrisyalud_902F23%2Fsys23_68-03.pdf&den=884335&chunk=true</div> | | | | | | |

- 1) Nutrición animal aplicada. 2014. Curso para Profesionales de INTA Balcarce.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_curso_nutricin_animal_aplicada_2014.pdf

En síntesis
Más del 30% de la **Materia seca**,
Proteína y de las **Fibras**

Y

Más del 12% del
almidón (energía)

Se pueden **“perder”** en **heces**
(bostas)

METABOLISMO HEPÁTICO Y RECICLAJE DE UREA¹

Cuando **no** hay suficiente **energía fermentecible**, o cuando la **concentración proteica** de la dieta y/o el **consumo** es **excesivo**, *no todo* el **nitrógeno amoniacal** (N-NH_3) disponible es utilizado para la síntesis bacteriana. El exceso de **amonio** es **absorbido** a través de la **pared ruminal** y es transportado por la **sangre** al **hígado**. El **hígado** convierte este **N a urea** que se libera nuevamente en el torrente sanguíneo.

1. Puede ser **reciclado al rumen** a través de la **saliva** o de la **pared ruminal**.
2. Puede ser **excretado** en la **orina** por los **riñones**.

La **urea** que se **recicla al rumen** es convertida rápidamente a **N-NH_3** , sirviendo nuevamente como sustrato para la síntesis de proteína microbiana. La **urea excretada** en la **orina** es **N perdido** para el animal.

1) R. Rodríguez, Areadne Sosa y Yeni Rodríguez. Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 41, Número 4, 2007. 307

Esta **urea** puede seguir dos vías:

Cuando el rumiante consume una **dieta baja en proteína** se vuelve sumamente **eficiente** en el **uso del N**, no existiendo prácticamente **pérdidas en orina**, ya que es reciclado al rumen con el objetivo de incrementar la concentración de N-NH_3 , afectando positivamente al crecimiento bacteriano y a la tasa de digestión de la MO.

De acuerdo a diversos autores, en **dietas “no deficientes” en proteína** aproximadamente el **15% del N consumido** es **reciclado al rumen**. En “**dietas deficientes**” el **reciclado** proviene del **N endógeno** generado por el **catabolismo de tejidos** (pérdida de peso) y puede llegar al **25% del N consumido**.

SINTESIS DE PROTEINA MICROBIANA¹

Los **microorganismos ruminales** son capaces de **sintetizar de novo los diez aminoácidos esenciales**.

La **síntesis** de estos **aminoácidos** se realiza a partir de **amoníaco y esqueletos carbonados simples** (<5 carbono), producidos durante la **degradación del alimento**.

Por esta razón, los **rumiantes subsisten** y tienen **modestos niveles de producción**, cuando sólo tienen **NNP (urea, amoníaco)** como fuente de N en la dieta. El **amoníaco** es el **intermediario central en la degradación y asimilación del N** en el rumen.

1) R. Rodríguez, Areadne Sosa y Yeni Rodríguez. Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 41, Número 4, 2007. 307

La **concentración óptima de amoníaco** para la **síntesis de proteína microbiana** se halla entre **5.6 y 10 mg NH₃/dl de fluido ruminal**, siempre que la disponibilidad de **energía no limite** el ecosistema ruminal.

La posibilidad de utilizar el **amoníaco** permite a los microorganismos del rumen **reciclar** cantidades importantes de **urea**, como fuente de N para la síntesis de proteína microbiana, cuando se dispone de **cantidades suficientes de energía**.

Cuando el **abastecimiento de energía** es **inadecuado**, el animal recurre a la **fermentación de la proteína verdadera dietaria** para generar **energía**, incrementándose la **producción de N-NH₃**. Esta situación trae aparejado una disminución en la utilización de este compuesto y con él, una **ineficiencia** en el uso de la **proteína verdadera dietaria** al **aumentar las pérdidas de nitrógeno en orina**. Así, la disponibilidad de **energía** en el rumen permite su incorporación a la **proteína microbiana**.

La **síntesis** de las moléculas de **urea** en el **hígado** requiere **energía**, por lo que es un **proceso costoso** y puede influir negativamente en la producción animal, ya que una parte de la energía disponible para el mantenimiento o para la producción de carne o leche, debe destinarse a compensar la situación que se crea por exceso de amoníaco en sangre.

Las **bacterias ruminales** también pueden **incorporar directamente aminoácidos y péptidos de la dieta**. Aproximadamente, el **30 % del N de la dieta** que se degrada en el rumen se incorpora a la **proteína microbiana** en forma de **péptidos y aminoácidos**.

Las *menores tasas de crecimiento microbiano* se producen cuando se emplea la **celulosa** como única *f fuente de energía*, pero la degradación de los carbohidratos estructurales depende también de las cantidades de **lignina** que contenga el alimento. La **síntesis de proteína microbiana** se **incrementa** muchas veces por la inclusión de moderadas cantidades de *carbohidratos, fácilmente fermentables en la dieta*.

Al aumentar el **tamaño de partícula de la fracción fibrosa** en *dietas altas en concentrados energéticos* se **incrementa** la **eficiencia de síntesis microbiana**, debido a que se mejoran las condiciones ruminales al incrementar los procesos de **rumiación y salivación**.

Los **almidones** pueden tener **efectos negativos** en la **síntesis microbiana** en el rumen porque su **fermentación disminuye el pH ruminal**, afecta la degradación de la fibra, incrementa las pérdidas energéticas de los microorganismos y disminuye la síntesis de novo de aminoácidos.

El efecto de la **suplementación con proteínas** en la **síntesis de proteína microbiana** depende del tipo de **energía** suministrada en los concentrados.

El **amoniaco** es la fuente fundamental de N de los microorganismos ruminales, pero la disponibilidad en la dieta de aminoácidos, péptidos o de ambos, incrementa el crecimiento de bacterias celulolíticas y amilolíticas.

La **síntesis de proteína microbiana** se puede **maximizar**, si se **sincroniza** la disponibilidad de **energía fermentable y de N degradable** para los microorganismos en el rumen. Sin embargo, cuando la tasa de *degradación de los carbohidratos excede* la de la *proteína*, la producción de **proteína microbiana** puede **decrecer**.

Se desconoce la **relación óptima** entre los **carbohidratos no estructurales** y el **N amoniacal**.

LITERATURAS CITADAS

Aldrich,J, Akey,C,Inc. Lewisburg,OH.1998.Putting the carbohydrates and protein (amino acid) together for optimum profit and performance.

<http://www.das.eas.psu.edu/dairymap/publication/dadmc97/paper10htm>

Bergman EN y Hogue DE. 1967. Glucose turnover and oxidation rates in lactating sheep. *Am J Physiol* 213: 1378–1384.

Broster,W.H y Oldham,J.1988.Avances en nutrición de rumiantes.Haresign & Cole. Acribia.

Di Marco, O.N y Aello, M.S. 2002. ¿Afecta el exceso de amonio ruminal el gasto energético de rumiantes? Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata/INTA, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce).

https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/47-afecta_el_exceso_amonio_ruminal_el_gasto_energetico.pdf

Garriz, M y López, A. 2002. Monografía final del curso Nutrición en la Intensificación. Cátedra de Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Veterinaria de la Univ. de Bs. As.

https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/07-suplementacion_con_nitrogeno.pdf

Haliburton JC y Morgan SE. 1989.Nonprotein nitrogen–induced ammonia toxicosis and ammoniated feed toxicity syndrome. *Vet Clin North Am: Food Anim Pract* 5: 237–249.

Huntington GB y Archibeque SL.2000. Practical aspects of urea and ammonia metabolism in ruminants. *J Anim Sci.* 78: 742:749.

Lobley GE, Milano GD y Van Der Walt JG. 2000. The liver: Integrator of nitrogen metabolism. In: CRONJE P B, editor. *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Pretoria, South Africa: CABI: 149–168.

Mackle TR, Parr CR y Bryant AM. 1996. Nitrogen fertilizer effects on milk yield and composition, pasture intake, nitrogen and energy partitioning, and rumen fermentation parameters of dairy cows in early lactation. *New Zel J Agric Res* 39: 341–356.

Mazzaferro E, Hackett T, Wingfield W, Ogilvie G y Fettman M. 2000. Role of glutamine in health and disease. *Compendium* 22: 1094–1103.

Nocek,J.E. y Russell,J.B.1988. Protein and energy as an integrated system.Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production J.Dairy Sci.71:2070-2107.

Reynolds CK. 1992. Metabolism of nitrogenous compounds by ruminant liver. J Nutr 122: 850–854.

Paquay, RGoldea,J.M., Baere,R, y Louse,A.1973.J Dairy Res.40:329

Sinclair KD, Sinclair LA y Robinson JJ. 2000. Nitrogen metabolism and fertility in cattle: I. Adaptative changes in intake and metabolism to diets differing in their rate of energy and nitrogen release in the rumen. J Anim Sci 78: 2659–2669.