

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL RUMEN

Omar Araujo Febres¹ y Juan Vergara-López²

INTRODUCCIÓN

Los rumiantes son mamíferos que se han especializado en consumir material vegetal fibroso, que las enzimas digestivas son incapaces de degradar, pero mediante la fermentación que proporcionan los microorganismos que viven en simbiosis en el rumen, son aprovechados. La gran capacidad gástrica de los rumiantes es necesaria para mantener los alimentos el tiempo suficiente para ser digeridos. Entonces, el estómago de los rumiantes se encuentra constituido por cuatro compartimientos, rumen, retículo, omasum y abomasum; sólo el último produce enzimas digestivos capaces de degradar alimentos (Phillipson, 1981). El proceso de fermentación es realizado principalmente en las dos primeras partes del estómago por los microorganismos (protozoarios, hongos y bacterias) que habitan en el rumen (Lovett et al., 2006) y el medio físico y químicos que los envuelve. El producto final de los procesos fermentativos ruminales son ácidos grasos volátiles, los cuales son absorbidos a través de la pared del rumen en un ambiente líquido amortiguado y próximo a la neutralidad al mismo tiempo que se eliminan continuamente productos solubles de dicho proceso. El rumen nunca se vacía, pero con ayuno prolongado el contenido puede llegar a ser cada vez más fluido (Phillipson, 1981).

En ovejas el volumen ruminal es de unos 5,3 L o 13% de su peso corporal, mientras que en bovinos el volumen es de unos 48 L o 15-21% del peso corporal (Owens y Goetsch, 1988). Phillipson (1981) reporta contenidos ruminales de 4-6 kg en ovinos y 30-60 kg en los bovinos, variando con la dieta y la tasa de pasaje a través del tubo digestivo. La capacidad del rumen puede ser estimada usando el tamaño del pool ruminal de la fibra detergente neutro (Stensi et al., 1994).

El conocimiento de los factores que alteran las condiciones físicas o el equilibrio químico del rumen es muy importante, porque puede permitir mejorar las condiciones de producción y el rendimiento de los animales.

Departamento de Zootecnia. Facultad de Agronomía.
La Universidad del Zulia.
Apartado postal 15205, Maracaibo. Estado Zulia
4005. Venezuela.

¹ E-mail: oaraujofebres@gmail.com

² INIA Zulia. Carretera a Perijá km 7,5. Maracaibo, ZU. Venezuela.

Llenado del rumen y tiempo de retención de las partículas

La alimentación del rumiante está basada en materiales fibrosos como los forrajes y/o materiales de diferente naturaleza como los alimentos concentrados, entre otros. Además, el tiempo entre comidas, consumo de agua son variables del mismo modo que la secreción de saliva, la fermentación, la tasa de pasaje y el volumen y contenido ruminal (Church, 1974).

La retención dentro del rumen provee suficiente tiempo a los microorganismos para degradar eficientemente los alimentos ingeridos (Yokoyama y Johnson, 1988). Ørskov (1994) asegura que actualmente el tiempo de retención en el rumen se encuentra entre 48 y 60 horas. Al mismo tiempo el grado de distensión y llenado del retículo-rumen limitan el consumo voluntario de alimento, siendo estos factores a su vez determinados por la tasa de pasaje a través del rumen. Esta última hipótesis es soportada por resultados obtenidos por Aitchison et al. (1986) quienes determinaron la tasa de pasaje y el consumo voluntario en ovejas alimentadas con dietas basadas en *Lolium perenne* cv. Endura cortado en dos estadios de madurez (tratamientos EC y LC respectivamente) y *Trifolium repens* cv. Blanca y Pronitro (tratamiento CL). Estos autores encontraron que la tasa de remoción del rumen de la fibra indigerible parecía variar durante el día con una máxima desaparición durante la comida seguida de una fase de retardo entre 5 y 10 horas después de ésta y un segundo incremento entre 10 y 24 horas después de la comida. Dichos resultados son más notables con henos de gramíneas, los cuales poseen mayor proporción de fracciones fibrosas, mientras que en el caso de leguminosas parecen estar envueltos otros factores.

El tiempo de retención de los forrajes en el rumen es muy importante para caracterizar el valor alimentario, especialmente la degradabilidad. Esta información es esencial para optimizar el nitrógeno y la energía disponible para la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Bulang et al., 2007).

La materia seca en el contenido ruminal se encuentra entre 10 y 15% (Church, 1974; Phillipson, 1981). Otros autores, (Owens y Goetsch, 1988) estiman que oscila desde menos de 7% hasta más de 14% del peso fresco del material ruminal de ganado vacuno. Yokoyama y Johnson (1988) señalan que generalmente la digesta de

	EC	LC	CL
PCR	12009	12297	10298
MS	906	1090	839
%MS	7,54	8,86	8,15

EC: L. perenne cosechado tempranamente. LC: L. perenne cosechado tardíamente. CL: T. repens. Modificada de Aitchison et al. (1986).

Cuadro 1. Peso del contenido ruminal (PCR)(g), materia seca (MS)(g) y porcentaje de materia seca (%MS) en el rumen de ovejas alimentadas con L. perenne y T. repens.

las regiones dorsales del rumen posee un contenido de sustancia seca del 14-18%, mientras que en las regiones ventrales es del 6-9% aproximadamente.

En el ensayo conducido por Aitchison et al. (1986) se estimó el peso de la digesta ruminal, pesando, mezclando y submuestreando sus contenidos y devolviendo los restos al rumen. En el cuadro 1 se pueden apreciar los porcentajes de materia seca correspondientes a cada una de las especies utilizadas como heno en este ensayo.

El menor valor de porcentaje de materia seca lo ostenta el contenido ruminal de los animales alimentados con la dieta basada en L. perenne cosechado tempranamente (EC), posiblemente debido a que se trata de un material en crecimiento, más joven con menor proporción de fracciones fibrosas indigeribles, lo que se puede corroborar además, con la más alta digestibilidad in vitro de la materia orgánica de EC con respecto a LC y CL presentadas en el cuadro 2 (Aitchison et al., 1986).

El tamaño de la partícula no es el único criterio que regula el pasaje desde el rumen (Prigge et al., 1990). Las partículas de alimento deben cumplir varios criterios antes de poder salir del rumen: a) reducción en tamaño; b) reducir la flotabilidad; y c) aumentar la gravedad específica funcional (GEF) y las posibilidades de abandonar el rumen aumentan con el tiempo de residencia (Prigge et al., 1990; Histrov et al., 2003; Lund et al., 2006). Las partículas que contienen más fibra indigerible y menos nitrógeno, son más pesadas y alcanzan una GEF más rápidamente y abandonan el rumen más pronto (Histrov et al., 2003), y las partículas del alimento que contienen más FDN digestible permanecen mayor tiempo en el rumen debido a esta retención selectiva (Lund et al., 2007). Las partículas en fermentación atrapan gas y reducen su gravedad específica funcional, permaneciendo más tiempo en el rumen; entonces la digestibilidad potencial y la densidad están inversamente relacionadas (Huhtanen et al., 2007). El pasaje selectivo de las partículas indigeribles previene de la acumulación en el rumen, y estimula el consumo de nuevo sustrato más rápidamente fermentable (Histrov et al., 2003).

Varios factores metodológicos contribuyen a la variación de la medición del pasaje de los nutrientes del rumen al abomaso (Ipharraguerre et al., 2007). El método in situ es el más comúnmente utilizado, sin embargo, esta técnica asume que todo el material que desaparece de la bolsa, ha sido fermentado, lo cual no es cierto totalmente (Huhtanen y Sveinbjorsson, 2006). La cinética del pasaje es generalmente estimada uniendo las partículas a marcadores externos, utilizando un modelo matemático de flujo, lo cual también permite estimar el tiempo de retención promedio (Huhtanen y Histrov, 2001; Huhtanen et al., 2007); sin embargo, esto altera la GEF de la partícula marcada. Los marcadores internos fluyen con los residuos no digeridos del alimento y no afectan la cinética de la degradación de la partícula y la digestión, siendo este comportamiento como marcadores ideales (Huhtanen y Histrov, 2001). El tiempo medio de retención de la fracción indigerible - FDNI o lignina - puede ser medido directamente por medio de la evacuación del rumen o en matadero. De esta aproximación, la tasa de pasaje (K_p) del compartimiento se estima como:

$K_p =$	FDNI (g/h)
	masa de FDNI en el compartimiento

Las características intrínsecas de los forrajes determinan la tasa de degradación de las partículas. Los animales que dependen de la fermentación digestiva como su principal fuente de energía deben mantener condiciones estables de temperatura, pH, y osmolaridad de sus microorganismos simbióticos (Crater et al., 2007).

TEMPERATURA RUMINAL

La literatura especializada cita una temperatura entre 39 - 40 °C para las condiciones normales de fermentación ruminal (Church, 1974), pero otros autores (Yokoyama y Johnson, 1988) señalan rangos más amplios entre los 38 y 42 °C.

El efecto de la temperatura ambiental sobre la fermentación y el metabolismo fue evaluado por Kaiser

Tratamiento...	EC	LC	CL
DOMD in vitro	0,68	0,56	0,65
MO	897	916	874
Nitrógeno	24	17	40
CHHS	129	79	55
FND	545	652	294
FAD	307	404	288
Lig.	19	48	35
IFND	85	194	91
IFAD	25	79	62
MS	0,87	0,88	0,87

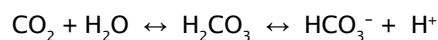
DOMD in vitro: Digestibilidad in vitro de la materia orgánica en materia seca. MO: Materia orgánica. CHHS: Carbohidratos hidrosolubles. FND: Fibra detergente neutro. FAD: Fibra detergente ácido. Lig: Lignina. IFND: Fibra detergente neutro indigerible. IFAD: Fibra detergente ácido indigerible. MS: Materia seca. Tomada de Aitchison et al. (1986).

Cuadro 2. Composición química (g/kg de materia seca) de los tres henos: *Lolium perenne* cortado tempranamente (EC), o tardíamente (LC) y *Trifolium repens* (CL).

y Weniger (1994), en corderos fistulados ruminalmente y alimentados con paja de avena o una dieta compuesta de concentrado/heno. Las muestras se conservaron a diferentes temperaturas incrementales hasta llegar a los 41°C. El pH ruminal descendió con el incremento de la temperatura, independientemente de la dieta, indicando una concentración incremental de ácidos grasos volátiles en el rumen favorecidos por los incrementos de temperatura, lo cual corrobora las afirmaciones de Church (1974). La digestibilidad total aumenta a altas temperaturas, porque el tiempo de residencia de la partículas del rumen se prolonga al disminuir la motilidad ruminal debido al estrés calórico (Tajima et al., 2007). Los animales más grandes son más sensibles a las altas temperaturas, y el efecto negativo de la altas temperatura se magnifica con altas humedades relativas (Tajima et al., 2007).

Ph DEL RUMEN

Son varios los factores que intervienen para cambiar el pH en el rumen. La naturaleza de la dieta suministrada es factor determinante en las fluctuaciones del pH ruminal, aunque los rumiantes poseen un sistema altamente desarrollado para mantener el pH dentro de los límites fisiológicos - 5,5 a 7,0 (Krause y Oetzel, 2006). El pH ruminal depende la presión parcial del CO₂, como puede observarse en la reacción:



Variaciones en la cantidad de CO₂ disuelto en el medio automáticamente variará la cantidad de iones H⁺ (Marden et al., 2005), entonces, el pH del rumen estará definido por:

$$\text{pH rumen} = 7,74 + \log (\text{HCO}_3^-/\text{pCO}_2)$$

El consumo de forrajes estimula elevadas secreciones de saliva, y los carbohidratos de los forrajes son lentamente digeribles, mientras que el consumo de granos, con carbohidratos rápidamente digeribles genera una importante concentración de ácidos orgánicos (Fischer et al., 1994). El consumo excesivo de carbohidratos rápidamente fermentables resulta en un aumento de la concentración de ácido láctico y en una repentina baja de pH (Krause y Oetzel, 2006), pero la magnitud de la disminución del pH debido a un aumento en la tasa de fermentación ruminal dependerá de la capacidad búfer del rumen (Counotte et al., 1979).

La saliva secretada por el rumiante actúa como lubricante del alimento consumido, con un pH 8,2 en promedio, alto contenido de sodio, potasio, bicarbonato y fosfato, características que le permiten su acción búfer en el licor ruminal (Emery et al., 1960; Krause y Oetzel, 2006). En ensayos realizados por Elam y Davis (1962) se detectó incremento en el pH del fluido ruminal al agregar una solución de saliva artificial, fenómeno que fue atribuido a las sales búfer contenidas en dicha solución. Sin embargo, una disminución en el pH del rumen no aumenta la secreción de saliva, ésta es estimulada por la comida y la rumia (Krause y Oetzel, 2006).

Durante el ayuno prolongado se eleva el pH ruminal, se inhibe el crecimiento de la bacterias que convierten el lactato en ácidos grasos de cadena corta (AGCC), y deja el ecosistema ruminal más susceptible a la acidosis severa (Krause y Oetzel, 2006); cuando el animal es

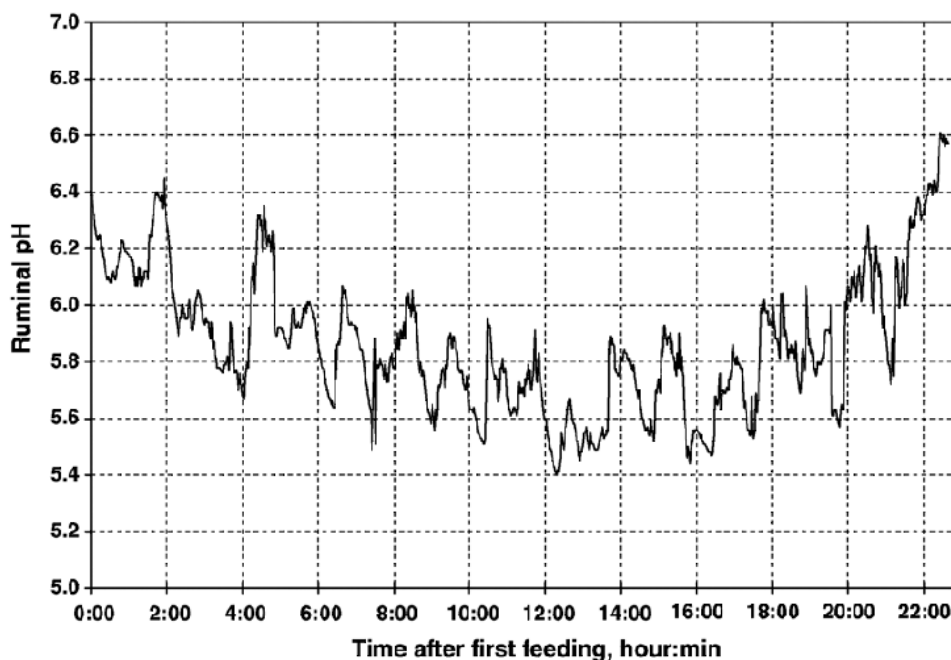


Figura 1. Variaciones del pH ruminal post-alimentación en un periodo de 24 horas. Tomado de Krause and Oetzel (2006).

realimentado, tiende a comer más rápidamente y en mayor cantidad, originándose un doble efecto para bajar el pH, mayor producción de AGCC y ausencia de bacterias capaces de convertir lactato en AGCC. Esto conlleva a establecer condiciones fisiopatológicas: incremento del ácido láctico, hiperosmolaridad, y acidemia sistémica (Krause y Oetzel, 2006). La habilidad del rumen para absorber AGCC ayuda a mantener el pH.

La forma física de la ración también afecta el pH. El suministro de heno estimula la rumia, y aumenta la producción de AGCC, especialmente la producción de acetato, y la producción de NH_3 (Fischer et al., 1994). La fibra larga estimula la rumia y la secreción salival, mientras que la fibra corta no puede ser mantenida en el rumen largo tiempo, disminuyendo la digestibilidad y el pH.

El nivel de consumo. Cuando los animales aumentan el consumo, más material fermentable está entrando al rumen, hay una mayor producción de ácidos orgánicos y baja el pH.

El pH del rumen varía considerablemente durante el día (Figura 1; Krause and Oetzel, 2006) e influye profundamente sobre la población microbiana (Yokoyama y Johnson, 1988). El pH del rumen baja progresivamente inmediatamente después del suministro del alimento y retorna a los niveles previos a la suplementación en 24 horas (Crater et al., 2007). En los sistemas intensivos

de producción, donde la utilización de concentrados es alta, la tasa de degradación de la fibra del alimento es disminuida por efecto del pH sobre la actividad celulolítica de los microorganismos.

En estas condiciones de alimentación, disminuye la rumia y por consiguiente, la secreción de saliva disminuye, lo cual impide que lleguen al rumen los álcalis contenidos en ella, obstruyendo su acción como neutralizantes de los AGCC. Cuando el pH cae a niveles por debajo de 5,5 se reduce el número de especies de bacterias y los protozoarios no sobreviven, hay un aumento de la osmolaridad del contenido ruminal, se inhibe el consumo, convirtiendo las condiciones del rumen en menos estables y con menor capacidad para mantener el pH en condiciones normales con cambios en la dieta (Krause y Oetzel, 2006).

El pH del rumen baja progresivamente inmediatamente después del suministro del alimento y retorna a los niveles previos a la suplementación en la 24 horas (Crater et al., 2007). En los sistemas intensivos de producción, donde la utilización de concentrados es alta, la tasa de degradación de la fibra del alimento es disminuida por efecto del pH sobre la actividad celulolítica de los microorganismos. En estas condiciones de alimentación, disminuya la rumia y por consiguiente, la secreción de saliva disminuye, lo cual impide que lleguen al rumen los álcalis contenidos en ella, impidiendo su acción como neutralizantes

de los AGCC. Cuando el pH cae a niveles por debajo de 5,5 se reduce el número de especies de bacterias y los protozoarios no sobreviven, hay un aumento de la osmolaridad del contenido ruminal, se inhibe el consumo, convirtiendo las condiciones del rumen en menos estables y con menor capacidad para mantener el pH en condiciones normales con cambios en la dieta (Krause y Oetzel, 2006).

La humedad del alimento. Cuanto más húmedo es el alimento menos secreción de saliva es necesaria, y menos sales alcalinas entran al rumen, entonces baja el pH. Añadir aceites y grasas también reduce el pH ruminal, ya que actúan de manera tóxica para los microorganismos que fermentan la fibra, y cambia el patrón de fermentación.

Sin embargo, las fluctuaciones del pH pueden ser alteradas a través del manejo de la alimentación. Añadiendo bicarbonato de sodio a la ración mantenemos el pH por encima de 5,5 y aumenta el consumo. Utilizando semillas oleaginosas enteras en vez de molidas, retarda la liberación de los aceites y no causa la baja del pH. Suministrando ración mezcladas completas (TMR = Total mixed rations) ayuda a estabilizar el pH, sincroniza la disponibilidad de la proteína degradable a los carbohidratos fermentables, aumenta el consumo, y minimiza la selección. Si los concentrados van a ser suministrados separadamente, se debe limitar a 3 kilos por suministro, y no utilizar granos con altos contenidos de almidón

CAPACIDAD BÚFER

La acción búfer es la capacidad de una solución para resistir cambios en el pH (Giger-Reverdin et al., 2002), y está definida como el número de moles por litro de H⁺ necesarios para causar un cambio en el pH. La del rumen está definida principalmente por el valor de pH, presión parcial de CO₂ y la concentración de sales de ácidos grasos de cadenas cortas (AGCC) (Counotte et al., 1979). El sistema búfer del rumen es muy complejo, descansando sobre una abundante producción de saliva (una vaca puede producir hasta 150 L/día), la remoción de los AGCC a través de la absorción en la paredruminal, el consumo de C por parte de los microorganismos, las sales minerales que reaccionan con los ácidos orgánicos vegetales produciendo CO₂, la proteína del alimento y el nitrógeno no proteico que al ser degradado generan NH₃, neutralizan los ácidos en el proceso.

La medida del buffer del contenido ruminal es útil al expresar la capacidad de éste para mantenerse más o menos estable a determinado rango de pH. Las abundantes secreciones salivales de bicarbonato y fosfato tamponan la fermentación del rumen generalmente con un pH entre 6 y 7 (Yokoyama y

Johnson, 1988). La capacidad buffer del fluido ruminal de animales alimentados a confinamiento y a pastoreo, contra las condiciones de acidez encontradas en el rumen por efecto de la producción de AGCC fue estudiada por Bloomfield et al. (1966). El suministro de urea en las raciones obliga a las bacterias a degradarla rápidamente a amoníaco y CO₂, lo que hace que el pH ruminal se incremente. Se compararon agentes ácidos y básicos, modificantes del pH de las muestras de licor ruminal, obteniendo como resultados que la capacidad búfer ácida es mayor que la alcalina, debido a que los incrementos en unidades de pH son mayores en las especies alcalinas que en las ácidas, tal como se puede apreciar en el cuadro 3.

Cuadro 3. Efecto de diferentes modificantes del pH sobre la capacidad búfer del fluido ruminal.

Modificante	A	B
NaOH	+2,30	+2,50
NH ₄ OH	+1,65	+1,55
Urea	+1,00	+1,00
HCl	-0,65	-0,55
HAc.	-0,60	-0,80

+, -: incrementos positivos o negativos en unidades de pH.

Datos tomados de Bloomfield et al. (1966).

POTENCIAL REDOX

El ambiente intraruminal es anaeróbico por excelencia, lo que indica que se encuentra constantemente en condiciones de reducción. Sin embargo, es posible encontrar muy poco oxígeno en ocasiones, producto posiblemente, de su introducción a través del alimento ingerido o el agua (Church, 1974). Dicho ambiente favorece la supervivencia de microorganismos anaerobios. La baja concentración de oxígeno en el rumen, según lo indica un potencial negativo de oxidación (Eh) entre -250 y -450 milivoltios (mV), estimula el crecimiento de este tipo de microorganismos, que solamente pueden desarrollarse en ausencia de oxígeno o cuando su concentración es mínima (anaerobios obligados) (Yokoyama y Johnson, 1988).

Baldwin y Emery (1960) presentan en sus datos una relación lineal existente entre Eh y pH ruminales. Esta relación puede ser expresada por la ecuación: Eh = E0 - 0,06 pH, donde Eh es el potencial en voltios a cualquier pH; E0 es el potencial a pH 7 y 0,06 es el coeficiente de regresión lineal. Los autores trabajaron con los microorganismos ruminales de las muestras muertas y utilizando azul de metileno como mediador, alcanzando el equilibrio más rápidamente que cuando

se utilizan muestras con microorganismos vivos. Esto indica que el efecto del pH sobre Eh es modificado por los organismos vivos. Se concluye en base a las evidencias encontradas en esta experiencia que bajo condiciones anaeróbicas en el ambiente ruminal, las bacterias utilizan su sustrato como un aceptor de electrones. Las características reductivas del fluido ruminal pueden usarse como un índice de la tasa de fermentación.

PRESIÓN OSMÓTICA

La presión osmótica diferencial en el contenido ruminal es atribuida a la presencia de átomos ionizados o moléculas presentes en un soluto y se piensa que equivalen a la tensión gaseosa que producirían estos iones si se encontraran en forma gaseosa. La presión osmótica es cuantificada, por lo general, mediante la determinación del descenso del punto crioscópico (Church, 1974).

Los procesos fermentativos normales varían de acuerdo a circunstancias ambientales y dietéticas, éstas por lo general tienen lugar con una osmolaridad entre 260 y 340 mOsM, normalmente alrededor de 280, pudiendo aumentar hasta 350 o 400 mOsM después de consumir alfalfa granulada o concentrados. El flujo de agua a través de la pared ruminal se realiza en pequeñas cantidades con una osmolaridad normal, mientras que con incrementos de esta presión osmótica se espera que entre agua al rumen (Warner y Stacy, 1972; Church, 1974, Owens y Goetsch, 1988).

En el trabajo de Fischer et al. (1994) fue cuantificada la presión osmótica u osmolaridad del contenido ruminal a través de la determinación del punto crioscópico, mediante la utilización de un osmómetro. En el cuadro 3 se presenta la osmolaridad del contenido ruminal para las dietas suministradas en este ensayo, se puede apreciar un incremento en la osmolaridad. El incremento en la concentración de ácidos orgánicos en el rumen quizá sea la razón del incremento de la presión osmótica. Esta situación corrobora la afirmación de Owens y Goetsch (1988), quienes afirman que por encima de 350 mOsM la digestión de la fibra y los almidones se ve inhibida a través de un efecto directo sobre el metabolismo microbiano, del mismo modo que se altera la rumia, ya que al incrementarse la presión osmótica comienza a entrar agua desde la sangre al rumen. El rumen en descanso es hipotónico.

Además, Kapoor y Puri (1994) al evaluar la osmolaridad de 4 dietas (paja de trigo + mezcla concentrada (A); paja de trigo + material verde+mezcla concentrada (B); paja de trigo tratada con 2% urea + mezcla concentrada (C) y paja de trigo tratada con 4% de urea, 40% H₂O + mezcla concentrada (D)) en becerros de búfalos fistulados en el rumen, encontraron que la osmolaridad fue menor con las dietas C y D que con las A y B. También observaron

que la osmolaridad se incrementó 3 y 6 horas después de la alimentación, atribuyendo estos resultados al suministro de sal y a la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen.

Del mismo modo, en el trabajo de López et al. (1994) evaluaron la cinética del agua, presión osmótica y absorción de ácidos grasos volátiles en ovejas a las cuales se les ajustó la presión osmótica mediante infusiones ruminales de soluciones salinas (NaCl), se observó que para una osmolaridad de 341 mOsM/kg, el movimiento neto de agua a través de la pared ruminal podía ser cero, mientras que se observó para disminuciones o incrementos en dicha osmolaridad, un flujo neto de agua hacia afuera o hacia adentro del rumen, respectivamente. La tasa de absorción de agua (mL/h) fue significativamente afectada por la presión osmótica ruminal para la primera parte de dicho experimento. En el segundo experimento, la presión osmótica tuvo un efecto lineal sobre el volumen ruminal, observándose incrementos en éste último de 10 a 20% con los incrementos en la osmolaridad, debido al incremento en la tasa de in flujo de agua hacia el interior del rumen a partir del torrente sanguíneo. También se observó una disminución en la tasa de absorción de ácidos grasos volátiles desde 232 mmol/h para 350 mOsM/kg, hasta 191 mmol/h para 490 mOsM/kg, resultando una acumulación de AGCC (especialmente acetato) en el rumen con una consecuente disminución en el pH ruminal. De acuerdo a los resultados obtenidos por estos autores, la presión osmótica parece ser importante al definir el movimiento del agua a través de la pared ruminal y por tanto, determinando su entrada y salida.

SOLUTOS ORGÁNICOS

Son diversas las especies de solutos que pueden encontrarse en el contenido ruminal si se toma en cuenta que pueden entrar vía alimentos, saliva, productos de desecho de los microorganismos ruminales, líquidos ingeridos y/o secreciones propias del sistema digestivo (Church, 1974). Weller et al. (1967) determinó las tasas de producción de AGCC en el rumen de ovinos alimentados con alfalfa y heno de trigo, mediante un procedimiento de dilución de isótopos basada en la infusión ruminal de AGCC marcados con C¹⁴. La infusión de éstos ácidos marcados mostró que la composición de ácidos inicialmente formados en el rumen fue: acético 77-83%, propiónico 15-18% y butírico 1-7%, de acuerdo a la dieta suministrada y el tiempo transcurrido después de la alimentación. Del 50-80% del ácido butírico fue formado a partir de la condensación de ácido acético. En los ensayos realizados con heno de alfalfa se observó que los ácidos formados inicialmente contenían alrededor de 80% de ácido acético y 7% de ácido butírico, mientras que el producto final contenía 68% de acético y 14% de butírico, lo que evidencia la

formación de butírico a partir de la condensación de moléculas de ácido acético.

CONSIDERACIONES FINALES

Mantener uniformes las condiciones del rumen para garantizar un funcionamiento en óptimas condiciones es el requisito para una buena producción. En el ganado lechero debe observarse lo siguiente:

- a) Suministrar ración completa mezclada, esto garantiza un consumo adecuado de todos los nutrientes, disminuye la selección, y estimula el consumo
- b) La ración debe tener entre 18 y 20 % de fibra detergente ácido (FDA) y el ensilaje de maíz troceado a 2 cm.
- c) Evitar dar más de 3 kg de concentrado a la vez
- d) Balancear la proteína no degradable y soluble. Utilizar diferentes fuentes de proteína
- e) Garantizar un suministro de minerales y vitaminas para los microorganismos y carbohidratos solubles

REFERENCIAS

Aitchison, E. M., M. Gill, M. S. Dhanoa y D. F. Osbourn. 1986. The effect of digestibility and forage species on the removal of digesta from the rumen and the voluntary intake of hay by sheep. *Brit. J. Nut.* 56: 463-476.

Baldwin, R. L. y R. S. Emery. 1960. The oxidation-reduction potential of rumen contents. *J. Dairy Sci.* 43: 506-511.

Bloomfield, R. A., E. G. Komer, R. P. Wilson y M. E. Muhrer. 1966. Alkaline buffering capacity of rumen fluid. *J. Anim. Sci.* 25: 1276. Abstract.

Bulang, M., C. Elwert, J. Spilke, M. Rodehutschord. 2007. Suitability of synthetic alkanes as markers for the estimation of passage rate in sheep. *Livest. Sci.* doi: 10.1016/j.livsci.2007.06.007 .

Church, D. C. 1974. Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Counotte, G. H. M., A. Th. van't Klooster, J. van der Kuilen. and R. A. Prins. 1979. An analysis of the buffer system in the rumen of dairy cattle. *J. Animal Science*, 49:1536-1544.

Crater, A. R., P. S. Barboza, R. J. Forster. 2007. Regulation of rumen fermentation during seasonal fluctuations in food intake of muskoxen. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 146 :233-241.

Elam, C. J. y R. E. Davis. 1962. Ruminal characteristics and bloat incidence in cattle as influenced by feeding synthetic saliva salts and sodium chloride. *J. Anim. Sci.* 21: 327-330.

Emery, R. S., C. K. Smith, R. M. Grimes, C. F. Huffman y C. W. Duncan. 1960. Physical and chemical changes in bovine saliva and rumen liquid with different hay-grain rations. *J. Dairy Sci.* 43: 76-80.

Fischer, J. M., J. G. Buchanan-Smith, C. Campbell, D. G. Grieve y O. B. Allen. 1994. Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn. *J. Dairy Sci.* 77: 217-229.

Giger-Reverdin, S., C. Duvaux-Ponter, D. Sauvant, O. Martin, I. N. do Prado, R. Muller. 2002. Intrinsic buffer capacity of feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Techn.* 96:83-102.

Hristov, A. N., S. Ahvenjarvi, T. A. McAllister, and P. Huhtanen. 2003. Composition and digestive tract retention time of ruminal particles with functional specific gravity greater or less than 1.02. *J. Anim. Sci.* 81:2639-2648.

Huhtanen, P., U. Asikainen, M. Arkkila, S. Jaakkola. 2007. Cell wall digestion and passage kinetics estimated by marker and in situ methods or by rumen evacuations in cattle fed hay 2 or 18 times daily. *Animal Feed Science and Technology* 133: 206-227.

Huhtanen, P., and A. N. Histrov. 2001. Estimating passage kinetics using fibre-bound 15N as internal marker. *Animal Feed Science and Technology.* 94:29-41.

Huhtanen, P., and J. Sveinbjornsson. 2006. Evaluation of methods for estimating starch digestibility and digestion kinetics in ruminants *Animal Feed Science and Technology.* 130: 95-113.

Ipharraguerre, I. R., S. M. Reynal, M. Liñeiro, G. A. Broderick, and J. H. Clark. 2007. A comparison of sampling sites, digesta and microbial markers, and microbial references for assessing the post-ruminal supply of nutrients in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1904-1919.

Kaiser, D. y J. H. Weniger. 1994. In vivo and in vitro studies on nutrient digestibility and heat production of ruminants under heat stress and at different nutrient supply. 4. In vitro studies-background, experimental design, gas production in relation to incubation temperature, energy content of incubated feeds. *Archiv fur Tierzucht.* 37(4): 385-399.

Kapoor, P. D. y J. P. Puri. 1994. Rumen fluid osmolality with different feeding regimes in buffalo. *Livestock Adviser.* 19(2): 30-33. Resumen. CAB-Abstracts.

Krause, K. M., and G. R. Oetzel. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy

- herds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 126: 215-236.
- López, S., F. D. De B., Hovell y N. A. MacLeod. 1994. Osmotic pressure, water kinetics and volatile fatty acid absorption in the rumen of sheep sustained by intragastric infusions. *Brit. J. of Nutr.* 71(2): 153-168. Resúmen. CAB-Abstracts.
- Lovett, D. K., L. Stack, S. Lovell, J. Callan, B. Flynn, M. Hawkins, F. P. O'Mara. 2006. Effect of feeding *Yucca schidigera* extract on performance of lactating dairy cows and ruminal fermentation parameters in steers. *Livestock Science* 102: 23- 32.
- Lund, P., M. R. Weisbjerg, T. Hvelplund. 2006. Passage kinetics of fibre in dairy cows obtained from duodenal and faecal ytterbium excretion. Effect of forage type. *Animal Feed Science and Technology*. 128:229-252.
- Lund, P., M. R. Weisbjerg, T. Hvelplund. 2007. Digestible NDF is selectively retained in the rumen of dairy cows compared to indigestible NDF. *Animal Feed Science and Technology*. 134: 1-17.
- Marden, J. P., C. Bayourthe, F. Enjalbert, and R. Moncoulon. 2005. A new device for measuring kinetics of ruminal pH and redox potential in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88:277-281.
- Owens, F. N. y A. L. Goetsch. 1988. Fermentación ruminal. En: *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. C. D. Church (Ed.). Editorial Acribia, S. A.
- Ørskov, E. R. 1994. Recent advances in understanding of microbial transformation in ruminants. *Livestock Production Science*. 39: 53-60.
- Phillipson, A. T. 1981. Digestión en el rumiante. En: *Fisiología de los animales domésticos*. H. H. Duker y M. J. Swenson (Eds.). Aguilar Editor S.A. Mexico.
- Prigge, E. C., B. A. Stuthers and N. A. Jacquemet. 1990. Influence of forage diets on ruminal particle size, passage of digesta, feed intake and digestibility by steers. *J. Anim. Sci.* 68:435-436.
- Stacy, B. D. and A. C. I. Warner. 1966. Balances of water and sodium in the rumen during feeding: osmotic stimulation of sodium absorption in the sheep. *J. Exp. Physiol.* 51, 79-93.
- Stensig, T., M. R. Weisbjerg, J. Madsen and T. Hvelplund. 1994. Estimation of voluntary feed intake from in sacco degradation and rate of passage of DM or NDF. *Livestock Production Science* 39:49-52.
- Tajima, K., I. Nonaka, K. Higuchi, N. Takusari, M. Kurihara, A. Takenaka, M. Mitsumori, H. Kajikawa, R. I. Aminov. 2007. Influence of high temperature and humidity on rumen bacterial diversity in Holstein heifers. *Anaerobe*, 13: 57-64.
- Warner, A. C. I. and B. D. Stacy. 1972. Water, sodium and potassium movements across the rumen wall of sheep. *Q. J. Exp. Physiol. Cogn. Med. Sci.* 57;103-119.
- Weller, R. A., F. V. Gray, A. F. Pilgrim y G. B. Jones. 1967. The rates of production of volatile fatty acids in the rumen. IV. Individual and total volatile fatty acids. *Aust. J. Agric. Res.* 18: 107-118.
- Yokoyama, M. T. y K. A. Johnson. 1988. Microbiología del rumen e intestino. En: *El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición*. C. D. Church (Ed.). Editorial Acribia.