

CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE RUMINAL EN NOVILLOS SUPLEMENTADOS CON UREA DE BAJA SOLUBILIDAD¹

Audino Melgar M.²; Jonhatan E. González P.³

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la suplementación proteica con urea de baja solubilidad sobre las características del ambiente ruminal, se utilizó dos novillos provistos de fístula ruminal, alimentados con heno de *Digitaria swazilandensis* más una mezcla de granos, reemplazando 30% del requerimiento proteico de mantenimiento por urea altamente soluble en el rumen (NASR) y por urea de baja solubilidad ruminal (NBSR). El ambiente ruminal fue evaluado a las 0; 0,5; 1; 2; 4 y 6 horas postalimentación, analizando pH y nitrógeno amoniacal (NH₃-N) en fluido ruminal, y urea (BUN) y glucosa (BGL) en sangre. Se aplicó un diseño de Bloques Completamente Aleatorizado con arreglo de parcelas divididas y comparación LSMEANS. El pH no fue afectado por el tipo de urea (P>0,05), pero si por el tiempo de muestreo (P<0,05). El pH inicial promedio fue 6,58, luego alcanzó 6,80 una hora después para NASR y a las dos horas para NBSR y luego decreció. El NH₃-N fue diferente entre tratamiento (P<0,001) y tiempo de muestreo (P<0,05); durante las dos primeras horas, NASR mostró alta solubilidad (24,6 mmol/L), sugiriendo pérdidas de NH₃ a nivel ruminal, prueba de esto fue el incremento de BUN, hasta alcanzar el máximo valor a las dos horas (36,1 mg/dl). Al suplementar NBSR, los niveles de BGL fueron menores y uniformes pasado la primera hora (P<0,01), promoviendo una mejor sincronía entre proteína y energía para síntesis de proteína microbiana. El uso de NBSR mejoró la digestibilidad total de la dieta en un 9%, lo cual indujo a un aumento en el consumo de forraje.

PALABRAS CLAVES: Proteína, nitrógeno no proteico, rumen, nitrógeno amoniacal, fluido ruminal.

¹Recepción: 31 de marzo de 2014. Aceptación: 24 de febrero de 2015. Trabajo realizado en el Proyecto Evaluación de Nuevas Fuentes Energéticas y Proteicas para la Alimentación Animal en Panamá, financiado por el Gobierno Central.

²M.Sc. en Nutrición Animal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc).
e-mail: a.melgar@idiap.gob.pa, melgmore@gmail.com

³Estudiante graduando de Ingeniería Zootécnica. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
e-mail: jonhatan727@gmail.com

RUMINAL ENVIRONMENT CHARACTERISTICS IN STEERS SUPPLEMENTED WITH LOW SOLUBILITY UREA

ABSTRACT

In order to evaluate the protein supplementation with low solubility urea on ruminal environment characteristics, we used two steers fitted with ruminal fistula, fed with *Digitaria swazilandensis* hay plus a concentrate mix. Thirty percent of the maintenance protein requirement was replaced by urea, highly soluble in the rumen (NASR) and low ruminal soluble urea (NBSR). Ruminal environment was evaluated at 0; 0,5; 1; 2; 4 and 6 hours post feeding, analyzing pH and ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) in rumen fluid and urea nitrogen (BUN) and glucose (BGL) levels in blood. Data were analyzed under a completely randomized block design with split plot arrangement and LSMEANS comparison. The pH was not affected by the type of urea ($P>0,05$), but by the sampling time ($P<0,05$). The average initial pH was 6,58, then it raised 6,80 one hour after feeding for NASR and two hours for NBSR and then decreased. Ruminal $\text{NH}_3\text{-N}$ was different between treatment and sampling time ($P<0,001$) during the first two hours, showed high solubility NASR (24,6 mmol/L), suggesting loss of ruminal NH_3 level, proof of this was the BUN increase, reaching peak value after two hours post feeding (36,1 mg/dl). By supplementing NBSR, BGL levels were lower ($P<0,01$) and spent the first hour uniforms post feeding, promoting better synchrony between protein and energy for microbial protein synthesis, while no differences were reported between samplings post feeding ($P>0,05$). Using NBSR improved overall diet digestibility by 9%, leading to an increase in forage intake.

KEYWORDS: Protein, non-protein nitrogen, rumen, ammonia nitrogen, rumen fluid.

INTRODUCCIÓN

Desde los trabajos de Hart *et al.* (1939) se estableció que los compuestos nitrogenados no proteicos (NNP) podían ser utilizados en rumiantes, debido a su conversión en proteína por los microorganismos en el rumen, que la proteína microbiana sintetizada tenía un

valor biológico similar a la proteína vegetal (Harris y Mitchell 1941a, 1941b) y que el NNP era mejor utilizado cuando las dietas eran deficientes en proteína verdadera (Wegner *et al.* 1941a, 1941b) y en aquellas dietas con suficientes carbohidratos disponibles (Mills *et al.* 1942).

La fuente de NNP más utilizada comercialmente es la urea; esta contiene aproximadamente 46% de nitrógeno y un potencial de 287,5% de proteína cruda (PC) equivalente total para el rumiante (Escalona *et al.* 2007).

En el rumen, la urea se descompone en NH_3 , el cual es inmediatamente disponible para los microorganismos ruminales. El NH_3 es el principal compuesto nitrogenado para los microorganismos del rumen, cerca del 80% de estos microorganismos son capaces de crecer con NH_3 como única fuente de nitrógeno (Bondi 1988).

En muchos estudios se indica que la principal limitante para el uso de la urea en rumiantes es su alta solubilidad, con la consiguiente liberación brusca de NH_3 . De esta forma, es bien conocido que altos consumos de urea en un corto periodo predispone a la intoxicación (Helmer y Bartley 1971). Lo que llevó a Reid (1953) a señalar la necesidad de investigar para conseguir una degradación lenta, de forma que la liberación gradual del NH_3 permitiera una mayor eficiencia en su aprovechamiento. A partir de esto, aumentaron las investigaciones sobre las ventajas y desventajas del NNP en la suplementación animal (Loosli y McDonald 1968). A esto Rearte (1992), establece que

la máxima actividad bacteriana se logra cuando el ambiente ruminal es óptimo, es decir, tanto la digestión de la fibra como la multiplicación bacteriana alcanzan su punto máximo.

Para maximizar la síntesis de proteína microbiana en el rumen, se requiere la oportuna disponibilidad de fuentes adecuadas de nitrógeno e hidratos de carbono. La eficiencia del crecimiento microbiano y de la producción de proteína microbiana puede ser mejorada con adecuados niveles en el aporte de energía y nitrógeno en el rumen (Henning *et al.* 1993) y su balance en la ración (Nocek y Russell 1988).

Cuando la velocidad de la descomposición de la urea en NH_3 es más rápida, que la efectuada por las bacterias en convertir NH_3 en proteína (Reid 1953), se compromete el gasto energético del animal (Swensson 2003), aumenta la excreción de nitrógeno (Bristow *et al.* 1992, Tamminga 1992) y puede presentarse problemas de intoxicación (Repp *et al.* 1955, Escalona *et al.* 2007). Por lo tanto, para manejar esto, aparte de la adecuada sincronización y balance entre la proteína y la energía, sería disminuyendo la velocidad de producción de NH_3 con fuentes de NNP de baja degradabilidad y solubilidad ruminal; favoreciendo la

formación de un pH bajo que disminuya la absorción de NH_3 a nivel ruminal (Kolb 1971).

Atendiendo a esto, salió al mercado una fuente de NNP para rumiantes conocida como Optigen II® (Alltech 2008), producto introducido a Panamá en el 2010. Optigen II® permite una liberación controlada del nitrógeno debido a su baja solubilidad ruminal. De aquí, nuestro interés en evaluar y comparar las características del ambiente ruminal en novillos bajo un consumo de heno de swazi y suplementados con una mezcla de alimento concentrado donde el 3% de la mezcla fue reemplazada por urea de alta y baja solubilidad ruminal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización:

El estudio se realizó en las instalaciones de la Estación Experimental Carlos M. Ortega del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ubicado en Gualaca, provincia de Chiriquí, a una altura de 100 msnm, entre las coordenadas 8°38'20" de longitud Norte y 28°10'10" de longitud Oeste. Gualaca posee un ecosistema de bosque muy húmedo pre montano, caracterizado por una precipitación anual promedio de 4200 mm, temperatura media anual de 26,3 °C y humedad relativa de 87%.

Instalaciones:

La evaluación se realizó en una galera techada, con piso de concreto, canoas de alimentación y fuente de agua fresca. Luego de recibir control sanitario, dos novillos cruzados, con peso promedio de 304 ± 50 kg, provistos de fistula ruminal (Diamond Bar Inc., EEUU), fueron estabulados y alimentados por separado.

Manejo de la alimentación:

Una vez determinado el requerimiento nutricional de mantenimiento (NRC 2000) se ajustó de acuerdo al peso promedio de los animales (Cuadro 1), se evaluó los ingredientes y componentes de la dieta, compuesta por heno de *Digitaria swazilandensis* (swazi) y una mezcla de granos donde se incorporó la urea de alta y baja degradabilidad ruminal. La dieta se balanceo reemplazando el 30% del requerimiento de proteína de mantenimiento de cada animal por el equivalente proteico aportado por la urea. Cada animal fue alimentado con una mezcla de granos dos veces al día (8:00 a.m. y 2:00 p.m.), hasta un nivel que supliera los requerimientos nutricionales diarios de energía metabolizable en función del peso metabólico del animal ($\text{PV}^{0.75}$) para mantenimiento y dependiendo de la concentración energética del alimento (Mcal EM/kg MS). Para estimar el requerimiento de proteína se utilizó

una ecuación expresada por NRC (2000) que contempla las pérdidas dérmicas (descamaciones, pelos, entre otras), el nitrógeno fecal metabólico (NFM) y el nitrógeno urinario endógeno (NUE). Para este cálculo se consideró una excreción de NUE correspondiente a $0,4 \text{ g N/kg}^{0,75}$.

El heno de swazi se suministró a un nivel que permitiera un consumo

voluntario, definido por un rechazo del 10% durante el periodo de adaptación a la dieta por el animal. La mezcla de granos estuvo compuesta por 38% de maíz molido, 31% de harina de soya, 27% de pulidura de arroz, 1% de una mezcla de mineral, sal y azufre. El 3% de esta mezcla lo constituyó la urea como fuente de NNP, dependiendo del tratamiento urea altamente soluble o urea de baja solubilidad ruminal.

CUADRO 1. REQUERIMIENTO PROMEDIO DE PROTEÍNA Y ENERGÍA DE MANTENIMIENTO DE LOS ANIMALES UTILIZADOS EN EL ENSAYO.

REQUERIMIENTO PROMEDIO	NUTRIENTE		
	Materia Seca (MS) (kg/día)	Proteína Cruda (PC) (g/día)	Energía Metabolizable (EM) (Mcal/día)
	7,6	380	6,1

Requerimientos según NRC (2000).

Tratamientos:

Se evaluó dos niveles de solubilidad de la urea. El tratamiento 1 consistió en urea de alta solubilidad ruminal (NASR) y el tratamiento 2 en urea de baja solubilidad ruminal (NBSR). El potencial de proteína cruda de NASR es de 287,5%, con 46% de nitrógeno y el de NBSR es de 256,2%, con 41% de nitrógeno.

Duración del estudio:

Durante los primeros siete días del periodo inicial se suministró una dieta promedio general para ambos animales,

luego durante los siguientes siete días se sustituyó el 30% de la proteína requerida por el animal para mantenimiento por su equivalente aportado por la fuente de nitrógeno amoniacal, iniciando con NASR. Pasado este periodo, inició la primera fase experimental donde se evaluó el NASR. En el día 21 se cambió al NBSR y se esperó siete días de adaptación antes de iniciar la segunda fase experimental. En total, el estudio tuvo una duración de 35 días.

Variables de respuesta:

Dentro de cada fase experimental se tomó muestras del heno y de la mezcla de granos, haciendo una muestra compuesta por periodo para su análisis bromatológico. Durante los siete días de muestreo, se realizó mediciones por animal experimental de los parámetros o variables de respuesta que se describen a continuación:

Consumo de alimento (kg):

Se midió el consumo de forraje y de concentrado los cinco primeros días de cada periodo de evaluación. Para la determinación del consumo de forraje, se pesó la cantidad de heno suministrada durante el día y luego, se sustrajo el rechazo, pesado al siguiente día antes de las 8:00 a.m. Luego de calculado el aporte de forraje a cada animal, se le suministró la cantidad de concentrado necesaria para suplir su requerimiento de mantenimiento incluyendo la porción proteica aportada por la urea (NRC 2000).

pH del fluido ruminal:

Durante el día seis de cada periodo de muestreo, se tomó muestras del fluido ruminal para analizar su pH. Aproximadamente, 150 mL de fluido ruminal fue extraído de la sección ventral del rumen a las 0 hora, 0,5 hora, 1 hora, 2 horas, 4 horas y 6 horas, inmediatamente después de suministrada la dieta en la

mañana (8:00 a.m.), fue filtrado a través de dos capas de gaza y se midió su pH por medio de un potenciómetro digital (Orión II®).

Nitrógeno amoniacal (N-NH₃) en el fluido ruminal (mmol/L):

De cada muestra colectada de fluido ruminal para la medición del pH, se guardó 100 mL en un envase hermético con tapa y se mantuvo sobre hielo (4°C) para su conservación hasta llegar al laboratorio. La determinación de N-NH₃ se realizó por destilación en un equipo Kjeldahl, siguiendo la metodología descrita por Preston (1986).

Contenido de urea en el plasma sanguíneo (mg/dl):

Se tomó muestras de sangre a cada animal, paralelas al tiempo de colecta del fluido ruminal. Para esto, se colectó una muestra de 10 mL de sangre de la vena coccígea. En el laboratorio se determinó la concentración de urea en plasma sanguíneo, utilizando la técnica descrita por McCullough (1967) y adaptada a tiras de lectura en un equipo Reflotron®.

Contenido de glucosa en plasma sanguíneo (mg/dl):

La concentración de glucosa en el plasma sanguíneo se realizó sobre las mismas muestras colectadas para determinar la urea en el plasma sanguíneo,

haciendo el análisis por medio de tiras de lectura en un equipo Reflotron®.

Digestibilidad aparente total *in situ* (%):

Para medir la digestibilidad aparente total se determinó la fracción del alimento consumido que desapareció (digerido y absorbido) en su paso por el tracto gastrointestinal (TGI). Se expresó como porcentaje del alimento consumido total. Para esto, se determinó la fibra ácido detergente (FDA) del alimento consumido y de las excretas durante el periodo de muestreo, haciendo una mezcla compuesta homogénea del alimento consumido total y una para las heces. Luego de analizadas, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad (\%)} = \frac{\text{FDA consumida} - \text{FDA excretada} \times 100}{\text{FDA consumida}}$$

Diseño experimental:

Los datos de ambiente ruminal fueron analizados en un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo de Parcelas Divididas a través del siguiente modelo lineal fijo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + (\beta * T)_{ij} + P_k + (P * T)_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

μ = Media general;

β_i = Efecto del i-ésimo bloque (Animal);

T_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor A (Tipo de urea);

$(\beta * T)_{ij}$ = Error experimental asociado al Tipo de urea);

P_k = Efecto de k-ésimo nivel del factor B (Tiempo de muestreo);

$(P * T)_{jk}$ = Efecto de la interacción A*B (Tipo de urea * Tiempo de muestreo);

e_{ijk} = Error experimental asociado al Tiempo de muestreo.

La comparación de las medias de las variables de respuesta se realizó a través de diferencia mínima significativa (LSMEANS), utilizando un valor $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características del ambiente ruminal del ganado bovino en confinamiento con alto consumo de heno de swazi fueron estudiadas al sustituir el 30% de la proteína requerida para mantenimiento, por una fuente de NNP. Se utilizó un 30% de sustitución, ya que en estudios anteriores, la mayor respuesta biológica con NNP se ha obtenido con este nivel de sustitución (Astibia 1982, Néstor 2005, Escalona *et al.* 2007).

Los resultados de la comparación de medias por medio de LSMEANS para los tipos de urea y entre los puntos de

muestreo postingestión se presentan en el Cuadro 2.

CUADRO 2. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LOS PARÁMETROS DE AMBIENTE RUMINAL EN NOVILLOS SUPLEMENTADOS CON UREA DE ALTA Y BAJA SOLUBILIDAD RUMINAL.

Ambiente ruminal	Tipo de urea ¹	Medias en tiempo postingestión (Hora)						Valor de P ²		
		0	0,5	1	2	4	6	Media	Tipo de urea	Hora
pH	NASR	6,70 ^a	6,75 ^a	6,80 ^a	6,73 ^a	6,58 ^b	6,60 ^b	6,69 ^A	0,7726	0,0376
	NBSR	6,47 ^c	6,76 ^a	6,75 ^a	6,81 ^a	6,70 ^a	6,59 ^b	6,68 ^A		
NH ₃ N (mmol/L)	NASR	25,9a ^A	26,3a ^A	24,1a ^A	22,2a ^A	14,6b ^A	10,8b ^A	20,6 ^A	0,0004	0,0117
	NBSR	6,3c ^B	13,9a ^B	17,1a ^A	17,7a ^A	12,7ab ^A	7,0b ^{cA}	12,4 ^B		
Urea (mg/dl)	NASR	31,1c ^A	33,2bc ^A	34,1ab ^A	36,1a ^A	35,8a ^A	34,4ab ^A	33,3 ^A	0,0299	0,0590
	NBSR	26,2b ^B	28,6b ^B	30,3a ^B	31,1a ^B	31,5a ^B	31,5a ^B	29,9 ^B		
Glucosa (mg/dl)	NASR	77,4 ^A	83,2 ^A	97,1 ^A	77,4 ^A	86,4 ^A	84,6 ^A	84,3 ^A	0,0049	0,4522
	NBSR	71,2 ^A	59,1 ^B	58,6 ^B	77,4 ^B	64,3 ^A	78,0 ^A	64,2 ^B		

¹ NASR = Nitrógeno altamente soluble en el rumen, NBSR= Nitrógeno de baja solubilidad en el rumen.

² Valor de probabilidad.

^{abc} = Medias con distinta letra dentro de una misma fila son estadísticamente diferentes a P<0,05.

^{AB} = Medias con distinta letra dentro de una misma columna, para cada variable, son estadísticamente diferentes a P<0,05.

pH del fluido ruminal:

El pH promedio del rumen no fue afectado (P>0,05) por el tipo de urea presente en la dieta, lo que mostró que la liberación de NH₃, independientemente, si proviene de una fuente de NNP altamente soluble o de baja solubilidad, afecta el pH del rumen durante el proceso de fermentación (Cuadro 2).

El valor máximo de pH registrado para NASR fue de 6,8 a una hora postingestión del alimento y para NBSR fue de 6,81 obtenido a las dos horas postingestión del alimento (P<0,05). Ambos valores se mantuvieron fisiológicamente óptimos dentro del proceso de fermentación ruminal, considerando el concepto óptimo de actividad bacteriana en la fermentación

ruminal, cuando la digestión de la fibra como la multiplicación bacteriana alcanzan su punto máximo, donde el rango de pH debe estar en 6,7 a 6,8 (Rearte 1992).

Esto puede observarse mejor en la Figura 1, donde se muestra el comportamiento del pH del fluido ruminal durante los diferentes puntos de muestreo.

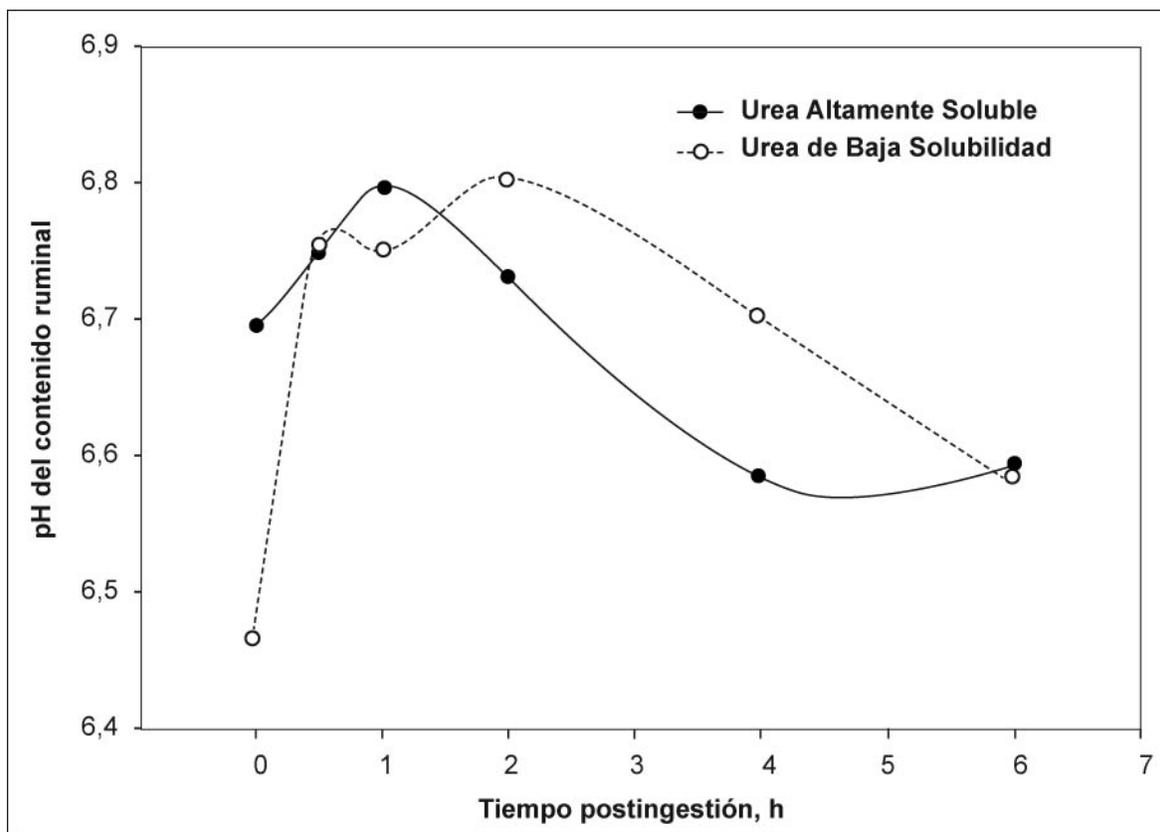


Figura 1. Valores de ph en contenido ruminal postingestión del alimento concentrado.

Nitrógeno amoniacal (N-NH_3) en el fluido ruminal (mmol/L):

El tipo de urea tuvo efectos ($P < 0,001$) sobre la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el fluido del rumen (Cuadro 2); así como la hora de muestreo ($P < 0,05$).

La mayor concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ fue reportada para NASR, con 26,3 mmol/L, el cual se registró a las 0,5 horas

postingestión del alimento concentrado, mientras que para NBSR el valor máximo registrado fue de 17,7 mmol/L y se registró a las dos horas después de ingerido el alimento.

Esto se debió a que la liberación de NH_3 de la fuente de NASR fue inmediata al suministro de la dieta y fue disminuyendo al transcurrir las horas, hasta reducirse a

la mitad pasada las seis horas de haber sido suministrado el alimento concentrado (Figura 2), similar a resultados reportados por Wegner *et al.* 1941a, 1941b. También, a un mayor nivel de reciclaje de la urea a través de la saliva o de las paredes del rumen, donde se encuentran grupos de bacterias que segregan la enzima ureasa, transformando la urea contenida en el plasma sanguíneo en $\text{NH}_3\text{-N}$ disponible en el rumen (Kennedy 1992).

La síntesis de proteína microbiana depende de la solubilidad y degradación del nitrógeno y la disponibilidad de

energía para las bacterias ruminales. Se evidenció la menor solubilidad del NBSR, permitiendo lograr mejor sincronía entre las bases carbonadas o cetoácidos y el $\text{NH}_3\text{-N}$, lo que promueve un mayor aprovechamiento de este en la síntesis de aminoácidos por las bacterias en el rumen (Johnson 1976, Henningh 1993). La liberación lenta de N-NH_3 de NBSR mejora la sincronización entre los cetoácidos y el amoníaco, permitiendo que los microorganismos ruminales realicen un uso eficiente de estos productos en la síntesis de proteína microbiana.

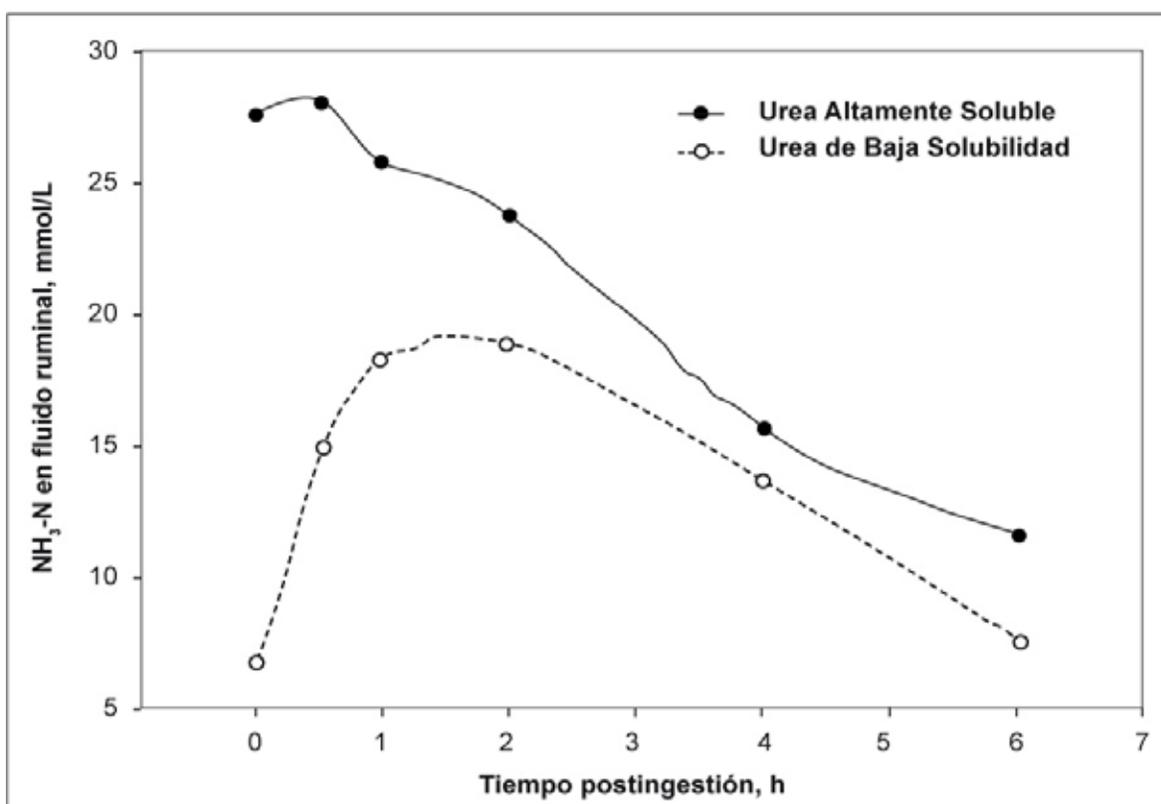


Figura 2. Concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ en fluido ruminal postingestión del alimento concentrado.

Contenido de urea en plasma sanguíneo (mg/dl):

El contenido de urea en el plasma sanguíneo fue dependiente ($P < 0,05$) de la fuente de NNP (Cuadro 2) y no así de la hora postingestión ($P > 0,05$). El menor contenido de urea en el plasma sanguíneo para NBSR pudo deberse al efecto causado por el porcentaje de urea sustituida en el concentrado, la cual al tener menor solubilidad ruminal permitía mejorar la sincronía entre la liberación de $\text{NH}_3\text{-N}$ y las bases carbonadas (cetoácidos), los cuales son utilizados por los microorganismos ruminales para la síntesis de aminoácidos y su propio aprovechamiento, lo cual repercute en una mayor producción de proteína de

origen microbiano y una menor pérdida de $\text{NH}_3\text{-N}$, incrementando la posibilidad de sustituir una mayor cantidad de proteína de la dieta.

Al observar la concentración de urea en el plasma sanguíneo (Figura 3), se evidenció un mayor paso de $\text{NH}_3\text{-N}$ del rumen hacia el plasma sanguíneo con NASR, lo que causa posibles pérdidas energéticas por la transformación en urea a nivel del hígado (Kennedy y Milligan 1978). De acuerdo a esto, casos severos puede llevar al animal a una hipoglucemia. Por el contrario, cuando se utilizó NBSR la concentración de urea en el plasma sanguíneo presentó valores más bajos y estables en el tiempo de muestreo, pasado las dos horas postalimentación.

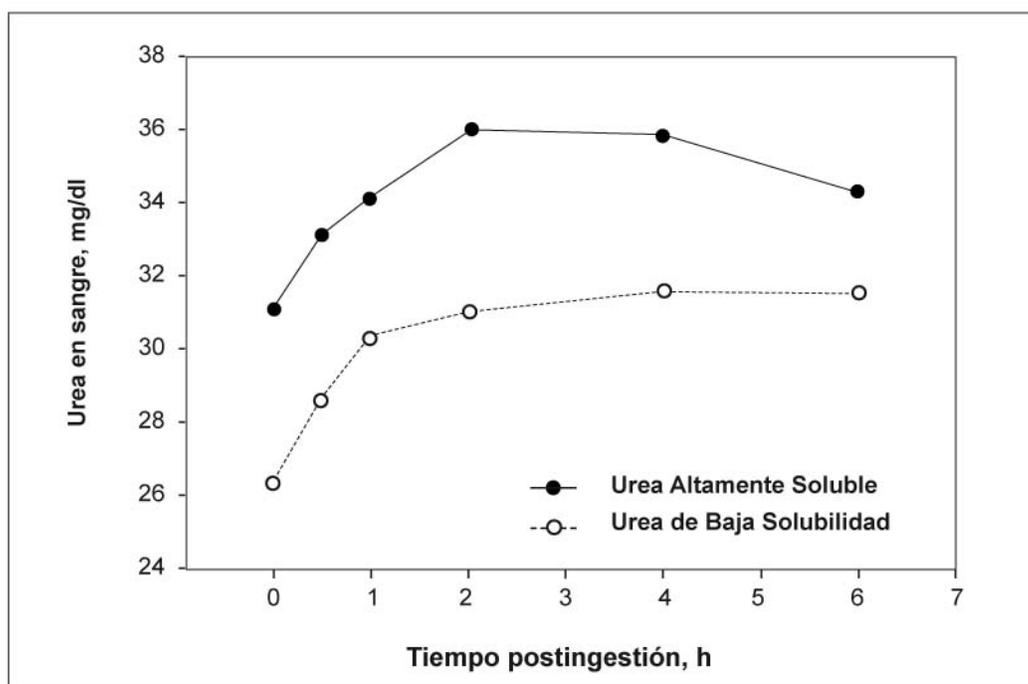


Figura 3. Concentración de urea en plasma sanguíneo postingestión del alimento concentrado.

Contenido de glucosa en plasma sanguíneo (mg/dl):

El tipo de urea afectó ($P < 0,01$) la concentración de glucosa en la sangre (Cuadro 2); entre las horas de muestreo no se reportó diferencia ($P > 0,05$). La diferencia en el contenido de glucosa en el plasma sanguíneo es producto de la menor solubilidad de la urea en el tratamiento NBSR, lo que indicó una mejor sincronía entre el $\text{NH}_3\text{-N}$ y la energía, mejorando la producción de proteína microbiana a partir de las fuentes energéticas de alta solubilidad ruminal presentes en la dieta.

Los mayores niveles de glucosa en sangre fueron reportados para el consumo de NASR. Esto pudo deberse a una menor utilización de las fuentes de carbohidratos de alta solubilidad contenidas en la

dieta, por parte de los microorganismos ruminales. Tal como reportaron Nocek y Russell (1988), cuando existe una alta disponibilidad de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el rumen la actividad microbiana se incrementa hasta un punto donde se mantiene constante, lo que inhibe el crecimiento y reproducción de los microorganismos ruminales, provocando el movimiento de la glucosa que no logra ser utilizada hacia la sangre.

La menor concentración de glucosa en el plasma sanguíneo con la dieta a base de NBSR puede explicarse, ya que la lenta liberación de $\text{NH}_3\text{-N}$ permite a las fuentes de carbohidratos de alta solubilidad ser inmediatamente utilizadas, dando un aumento en los niveles de glucosa en el tiempo aportado por las fuentes de carbohidratos estructurales.

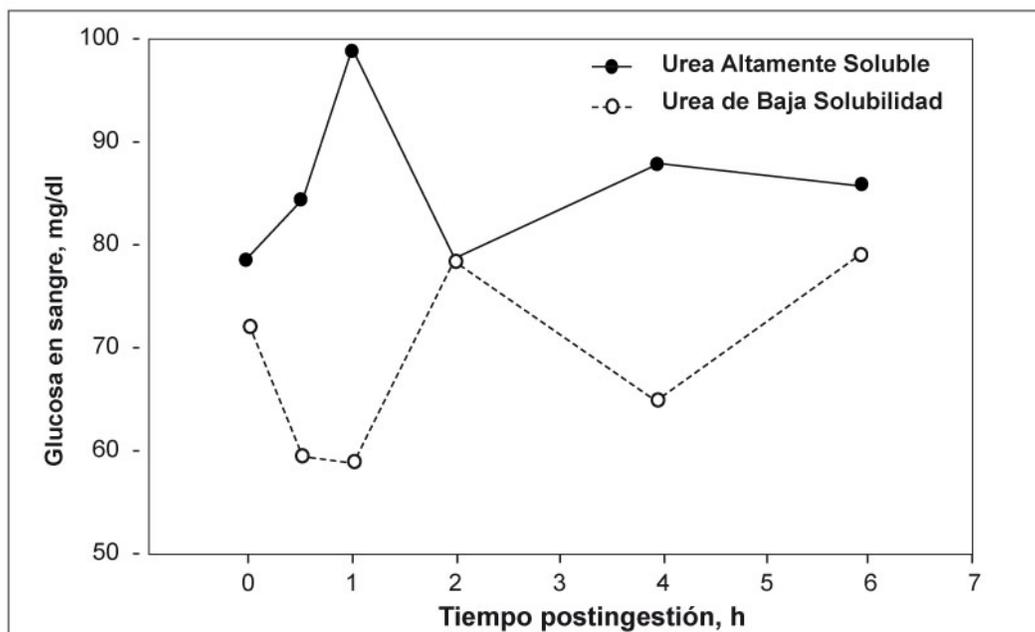


Figura 4. Concentración de glucosa en el plasma sanguíneo postingestión del alimento concentrado.

Consumo de heno y alimento concentrado:

Durante el periodo de adaptación se registró el consumo del heno hasta lograr un 10% de rechazo, lo que correspondió a un consumo promedio de 4,42 kg. Para calcular la cantidad de alimento concentrado a suministrar se consideró el contenido de proteína cruda del heno (4,16%), su materia seca (87%) y el requerimiento nutricional promedio del animal. El aporte del heno fue de 160 g/día; por lo tanto, los 220 g faltantes fueron suministrados a través de la mezcla de granos conteniendo la fuente de NNP.

El consumo de alimento concentrado se mantuvo constante durante el experimento, ya que su aporte fue ajustado para suplir solamente los requerimientos nutricionales de mantenimiento. Al comparar el consumo de heno durante la inclusión y evaluación de los tratamientos (Cuadro 3), se observó un cambio en el consumo (Kennedy 1992).

Para el tratamiento con NASR, los animales consumieron en promedio 1,7% de su peso vivo, mientras que al cambiar a NBSR, el consumo aumentó a 2,5% de peso vivo. Este aumento en el consumo nos sugiere un aumento en la digestibilidad del heno.

CUADRO 3. CONSUMO PROMEDIO DE HENO DE SWAZI DURANTE LA EVALUACIÓN DE CADA TRATAMIENTO.

CONSUMO PROMEDIO (animal/día)	kg de heno		% de peso vivo	
	NASR ¹	NBSR ²	NASR ¹	NBSR ²
A	5,90	9,07	1,5	2,5
B	5,44	6,80	1,8	2,5
PROMEDIO	5,67	7,93	1,7	2,5

¹ NASR (Nitrógeno altamente soluble en el rumen)

² NBSR (Nitrógeno de baja solubilidad en el rumen)

Digestibilidad aparente total (*in situ*):

Una vez obtenidos los datos de fibra ácido detergente (FAD) contenida en el alimento consumido (heno y mezcla de granos) y residual en las heces, se calculó la digestibilidad aparente total para cada tratamiento (Cuadro 4).

Para el tratamiento con NASR, la digestibilidad aparente fue de 23,8%, mientras que para el tratamiento con NBSR fue de 32,0%. La diferencia entre los tratamientos fue de 9%, sugiriendo un aumento en la digestibilidad de la dieta, lo que explica el aumento en el consumo

de heno de swazi. Esto sugiere que al aumentar la digestibilidad de la dieta, se promueve un efecto menos marcado del calor producido en el proceso de

fermentación ruminal, disminuyendo su incidencia en el estrés calórico sobre el animal (Altech 2008).

CUADRO 4. COMPARACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD APARENTE TOTAL DURANTE CADA TRATAMIENTO.

MUESTRA	TRATAMIENTO (% FAD ¹)	
	NASR ²	NBSR ³
Heno + Concentrado	39,1	40,9
Heces	29,8	27,8
Digestibilidad aparente total	23,8	32,0
Diferencia	9,0 %	

¹ FAD (Fibra ácido detergente).
² NASR (Nitrógeno altamente soluble en el rumen).
³ NBSR (Nitrógeno de baja solubilidad en el rumen).

CONCLUSIONES

- Los valores medios registrados para las variables de ambiente ruminal fueron bajos cuando se utilizó la urea de baja solubilidad ruminal, lo que indicó que ejerce un efecto significativo y positivo sobre los parámetros de ambiente ruminal, los cuales se mantuvieron en niveles adecuados sin comprometer el proceso de fermentación ruminal ni el crecimiento microbiano.
- La digestibilidad aparente total de la dieta suministrada a los animales se mejoró en un 9% con la urea de baja solubilidad ruminal, lo que permitió que el nitrógeno no proteico de baja solubilidad mejorara la función

de las bacterias digestoras de la fibra, aumentando la disponibilidad de los carbohidratos, estructuras presentes en el forraje. Además, al mejorar la digestibilidad aumentó el porcentaje de consumo de materia seca con relación al peso vivo.

RECOMENDACIÓN

- El nitrógeno no proteico de baja solubilidad ruminal mejora el proceso de fermentación ruminal, el consumo de fibra y la síntesis de proteína microbiana, lo que hace necesario una evaluación económica para conocer si la utilización de este producto es factible bajo los sistemas de producción en Panamá.

BIBLIOGRAFÍA

- Alltech. 2008. Optigen (en línea). Consultado oct. 2012. Disponible en <http://www.alltech.com/es/brands/pages/optigen.aspx>.
- Astibia, OR; Cangiano, CA; Cocimano, MR; Santini, FJ. 1982. Utilización del nitrógeno por el rumiante. Rev. Arg. Prod. Anim. 4(4):373-384.
- Bristow, AW; Whitehead, DC; Cockburns, JE. 1992. Nitrogenous constituents in the urine of cattle, sheep and goats. J. Sci. Food Agric. 59:387-394.
- Bondi, AA. 1988. Nutrición animal: Metabolismo proteico de los rumiantes. Editorial Acribia, S.A., p. 155.
- Escalona, R; Ramírez, P; Barzaga, G; De La Cruz, B; Maurenis Ramayo, C. 2007. Intoxicación por urea en rumiantes. Sitio de la producción bovina (en línea). Consultado oct. 2012. Disponible en <http://www.produccionbovina.com/>.
- Hart, EB; Bohstedt, G; Deobald, HJ; Wegner, MI. 1939. The utilization of simple nitrogenous compounds such as urea and ammonium bicarbonate by growing calves. J. Dairy Sci. 22:785-798.
- Harris, LE; Mitchell, HH. 1941a. The value of urea in the synthesis of protein in the paunch of the ruminant. I. In maintenance. J. Nutr. 22:167-182.
- Harris, LE; Mitchell, HH. 1941b. The value of urea in the synthesis of protein in the paunch of the ruminant. II. In growth. J. Nutr. 22:183-196.
- Helmer, LG; Bartley, EE. 1971. Progress in the utilization of urea as a protein replacer for ruminants. A review. J. Dairy Sci. 54:25-51.
- Henningh, P; Steyn, D; Meissner, H. 1993. Effect of synchronization of energy and nitrogen supply on ruminal characteristics and microbial growth. J. Anim. Sci. 71:2516-2528.
- Johnson, RR. 1976. Influence of carbohydrate solubility on non-protein nitrogen utilization in the ruminant. J. Animal Sci. 43:184-191.
- Kennedy, PM. 1992. Suplementación con niveles crecientes de urea sobre el consumo y las características del rumen. J. Anim. Sci. 70:3916-3921.

- Kennedy, PM; Milligan, LP. 1978. Transfer of urea from the blood to the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.* 40:149-154.
- Kolb, E. 1971. *Microfactores en nutrición animal*. Editorial Acribia. Zaragoza, ES. p.114-121.
- Loosli, JK; McDonald, IW. 1968. Nonprotein nitrogen in the nutrition of ruminants. *FAO Agricultural Studies no. 73*.
- Néstor, EO. 2005. El uso de las fuentes de nitrógeno no proteico en rumiantes. Sitio de la producción bovina (en línea). Consultado oct. 2012. Disponible en <http://www.produccionbovina.com/>.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clinical Chemistry*. 17:297-304.
- Mills, RC; Booth, AN; Bohstedt, G; Hart, EB. 1942. The utilization of urea by ruminants as influenced by the presence of starch in the ration. *J. Dairy Sci.* 25:925-929.
- Nocek, JE; Russell, JB. 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.
- NRC (National Research Council). 2000. *Nutrient requirements of beef cattle. Seventh Revised Edition, Updated*. National Academy Press, Washington, D.C. 248 p.
- Preston, TR. 1986. Better utilization of crop residues and by products in animal feeding: research guidelines. 2. A practical manual for research workers. *FAO Animal Production and Health Paper 50/2*. Roma, IT.
- Rearte, D. 1992. Alimentación y calidad de leche. *Revista Nuestro Holando*. Santa Fe, Buenos Aires, Ar. p. 34-45.
- Reid, JT. 1953. Urea as a protein replacement for ruminants: A review. *J. Dairy Sci.* 36:955-91.
- Repp, WW; Hale, WH; Cheng, EW; Burroughs, W. 1955. The influence of value of oral administration of non-protein nitrogen feeding compounds upon blood ammonia and urea levels in lambs. *J. Anim. Sci.* 14:118-131.

- Swensson, C. 2003. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livest. Prod. Sci.* 84:125-133.
- Tamminga, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *J. Dairy Sci.* 75:345-357.
- Wegner, MI; Booth, AN; Bohsted, G; Hart, EB. 1941a. Preliminary observations on chemical changes of rumen ingesta with and without urea. *J. Dairy Sci.* 24:51-6.
- Wegner, MI; Booth, AN; Bohsted, G; Hart, EB. 1941b. The utilization of urea by ruminants as influenced by the level of protein in the ration. *J. Dairy Sci.* 24:835-44.