

## Nutrición Proteica de Bovinos Productores de Carne en Pastoreo

José Mejía Haro\* e Ignacio Mejía Haro\*\*

### RESUMEN

La presente revisión se realizó con el objetivo de presentar la importancia y los avances que se han registrado en la nutrición proteica de los bovinos productores de carne en pastoreo. Se inicia con un análisis sobre la composición nutrimental de los forrajes, la utilización y degradación de la proteína, la síntesis de proteína microbiana y la proteína de escape ruminal; también, se analizan los requerimientos de proteína del rumiante, la suplementación proteica y por último se discute sobre la fermentación ruminal y cinética digestiva.

### ABSTRACT

The objective of this review was to present the importance and advances in protein nutrition of grazing beef cattle. First, an analysis on the nutrimental composition of forages is presented, followed by the use and degradation of protein, microbial protein synthesis and escape protein; also analyzed are protein requirements of the ruminant, and protein supplementation. Finally, digestive kinetic and ruminal fermentation are discussed.

Recibido: 20 de Abril de 2007  
Aceptado: 1 de Agosto de 2007

### INTRODUCCIÓN

Cada día es más importante optimizar los recursos alimenticios destinados a los animales domésticos, ya que originan el mayor porcentaje de los costos directos en las empresas pecuarias. Una manera de mejorar considerablemente el uso de los alimentos, es el conocer y aplicar adecuadamente las propiedades nutritivas que estos ofrecen en la dieta de los animales.

Por varias décadas se ha aceptado que la interacción entre la producción y la nutrición en bovinos productores de carne, es atribuida al consumo de energía y a la condición corporal del animal, pero también, el consumo y el tipo de proteína han demostrado tener una influencia en las respuestas productivas y reproductivas de los animales. El ganado bovino productor de carne en México se explota en su mayoría bajo sistemas de producción en pastoreo. En los últimos años se ha intensificado la investigación sobre proteína de escape ruminal, no obstante, la información sobre condiciones de pastoreo es muy pobre en México.

Por lo general, se formulan las dietas para incrementar las utilidades en términos de ingresos por concepto de producción. Sin embargo, el aporte de nutrimentos (incluyendo las proteínas) tradicionalmente no ha sido considerado como un mejorador del estado de salud y en general de los animales.

El objetivo de esta revisión es analizar los efectos de la nutrición proteica sobre el comportamiento productivo de bovinos productores de carne en pastoreo.

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### Palabras clave:

Nutrición; Proteína; Bovinos; Carne; Pastoreo.

#### Keywords:

Nutrition; Protein; Beef; Cattle; Grazing.

#### Composición Nutricional de los Forrajes

Coleman *et al.*, (1999) señalan que la importancia de la evaluación nutritiva de los alimentos, ha sido reconocida desde que el sistema Weende fue desarrollado en la Universidad de Goettingen en Alemania, antes de 1860. Así se inició al trabajo con digestibilidades y el porcentaje de carbohidratos, grasas y proteínas fue utilizado para estimar la capacidad de los alimentos

\* Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. Irapuato, Guanajuato, Mex. C.P. 36500, Apdo. Postal 311. Correo electrónico: haro@dulcinea.ugto.mx.

\*\* Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes.

en el aporte de energía; también surgieron tablas sobre composición de alimentos con valores promedio de la composición química y, frecuentemente, de la digestibilidad de los nutrimentos. El conocimiento del potencial nutritivo de los alimentos, y especialmente de los forrajes, es importante para la formulación y balanceo de raciones; sin embargo, se requiere entender los mecanismos que determinan las diferencias entre animales, alimentos y sus interacciones, para así incrementar la eficiencia de la producción animal.

Los alimentos y/o forrajes están constituidos por varias fracciones, las cuales pueden clasificarse en lípidos, azúcares, ácidos orgánicos, nitrógeno no proteico (NNP), proteína soluble, fibra ligada a proteínas, pectinas, hemicelulosa, celulosa y lignina. La cantidad de cada una de estas fracciones depende de la especie, estado de crecimiento y de la influencia ambiental (Karges, 1990).

Los compuestos nitrogenados presentes en los forrajes y en los alimentos, pueden ser fraccionados de la siguiente manera: 1) Compuestos solubles, principalmente aminoácidos libres, nitratos, amidas, aminas y ácidos nucleicos, 2) Compuestos insolubles pero degradables en el rumen, principalmente nitrógeno proteico, 3) Compuestos no degradables en el rumen pero digestibles en el intestino y 4) Compuestos nitrogenados indigestibles, compuestos caramelizados o ligados a la lignina. La proporción de cada una de estas fracciones varía dependiendo de las características intrínsecas de cada una de las fuentes nitrogenadas (Herrera-Saldaña, 1990). Por otro lado, Van Soest (1994), señala que la proteína cruda de los forrajes se divide en dos categorías principales, proteína verdadera y NNP; la proteína verdadera de los forrajes constituye del 60 % al 80 % del nitrógeno total, el resto está conformado por el NNP soluble y por pequeñas cantidades de nitrógeno lignificado.

Un problema asociado con la determinación del potencial nutritivo, es la falta de uniformidad entre las unidades que describen los constituyentes de un alimento y las unidades que expresan los requerimientos del animal.

#### Utilización de la Proteína por los Rumiantes

La nutrición de rumiantes comprende la nutrición de dos ecosistemas secuenciales. El primer ecosistema es el microbiano-ruminal, cuyas demandas y propiedades nutricionales son para sí mismo y sus productos finales constituye la fuente primaria de nutrimentos para el segundo ecosistema, el de los tejidos del rumiante (Ellis *et al.*, 1999).

Recientemente, el concepto de proteína metabolizable (PM) en rumiantes en pastoreo provocó cambios dramáticos. Anteriormente, los investigadores asumían que el contenido de energía era el mecanismo que modificaba el comportamiento animal y que el valor de proteína cruda de los forrajes sólo era un indicador de calidad. Sin embargo, algunas investigaciones (Kartchner, 1981), han mostrado marcados efectos de la suplementación proteica. Karges (1990), señala que las investigaciones actuales muestran la importancia de los aspectos cualitativos de la proteína del forraje para los rumiantes en pastoreo y la forma en que ésta es metabolizada en el animal, por lo que se deben de considerar al momento de definir las estrategias de suplementación.

Según Broderick (1996) y Huntington (1999), la proteína consumida por los rumiantes es degradada por las bacterias y protozoarios en el retículo-rumen. Una fracción de la proteína del alimento escapa al rumen, pero el resto es degradada a péptidos, aminoácidos libres, que son atacados por enzimas y finalmente, se libera amoníaco. Estos subproductos son utilizados para la síntesis de proteína por los microorganismos ruminales. La proteína microbiana más la proteína que escapa al rumen (llamada proteína sobrepasante o de sobrepaso ruminal) proveen de aminoácidos al animal; cuando la degradación de la proteína es rápida, los microorganismos ruminales no pueden utilizar todos los péptidos, aminoácidos y amoníaco liberados y entonces más proteína es degradada que sintetizada, constituyendo una pérdida de proteína (en forma de amoníaco). Debido a la toxicidad potencial del amoníaco sobre los tejidos, el hígado puede remover esencialmente todo el amoníaco que le llega y utilizarlo en la síntesis de aminoácidos, urea u otros compuestos nitrogenados.

Los microorganismos no solamente sintetizan proteína a partir de la proteína del alimento degradado, también pueden hacer uso eficiente de la urea reciclada al rumen, utilizando como vía la saliva y directamente, a través de la pared ruminal. Así, el suministro de proteína al abomaso e intestino delgado puede exceder al suministro del alimento (Broderick, 1996).

De igual manera, el tejido gastrointestinal sintetiza proteína para exportación, tal es el caso de las enzimas y hormonas, sintetiza, también proteína para el recambio del epitelio intestinal (Huntington, 1999).

Jouany (1996), analizó el efecto de los microorganismos ruminales, con énfasis en los protozoarios, sobre la utilización del nitrógeno en rumiantes y señaló que las consecuencias nutricionales, debidas a la mo-

dificación de la población microbiana ruminal no sólo deben considerar los efectos sobre la utilización del nitrógeno, sino también muchos otros factores interrelacionados, como la celulolisis, producción de ácidos grasos volátiles (AGV), metanogénesis, cinética de pasaje de digesta, degradación del almidón, pH ruminal, potencial redox, osmolaridad ruminal, hidrogenación de ácidos grasos, síntesis de colina y sensibilidad a pesticidas y toxinas, entre otros.

#### Degradación de la Proteína

Los rumiantes son animales capaces de utilizar una gran variedad de fuentes nitrogenadas, gracias a la simbiosis con los microorganismos del rumen. De esta manera, pueden ser degradados desde compuestos nitrogenados con un gran peso molecular y estructura compleja (proteínas animales), hasta compuestos simples de estructura sencilla (urea, sales de amonio). La cantidad y velocidad con la que una fuente de nitrógeno es degradada en el rumen depende de las características físico-químicas de dicho compuesto y de las condiciones del medio ruminal. (Herrera-Saldaña, 1990).

Los microorganismos ruminales pueden utilizar NNP en la síntesis de proteína y aminoácidos, por lo cual el rumiante puede mantener un grado de crecimiento aún cuando su dieta esté desprovista de proteína (Owens y Zinn, 1988). Sin embargo, estos microorganismos maximizan su crecimiento y producción cuando tienen acceso tanto a NNP como a proteína (Argyle y Baldwin, 1989).

Se ha puesto énfasis en la determinación exacta de requerimientos proteicos para rumiantes altamente productivos. Para establecer las cantidades y relaciones de nutrimentos necesarios para una óptima actividad microbiana y comportamiento animal se han determinado predicciones adecuadas de nutrimentos y del grado en que estos están disponibles para el animal (Nocek, 1988; Klopfenstein, 1996). Igualmente, Satter *et al.*, (1999) señalan que como resultado de las investigaciones durante las pasadas tres décadas, se ha incrementado el conocimiento de la digestión de las proteínas. La introducción de técnicas *in vitro* e *in situ* que diferencian entre las fracciones de las proteínas, ha resultado en modelos matemáticos predictivos de la cantidad de proteína del alimento que es degradada en el rumen, de la proteína microbiana sintetizada y de la proteína verdadera absorbida en intestino delgado.

Hay dos métodos principales para predecir la degradación de la proteína de la dieta en el rumen: 1) Solu-

bilidad de la proteína en varios solventes y 2) Desaparición de proteína de bolsas de dacron suspendidas en el rumen. La solubilidad de la proteína está relacionada con la liberación de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que es utilizado por los microorganismos ruminales para la síntesis de proteína celular. Si el  $\text{NH}_3$  está en exceso de las necesidades de los microorganismos, entonces éste va a ser absorbido a través de las paredes ruminales y convertido a urea en el hígado (Karges, 1990; Poos-Floyd *et al.*, 1985).

#### Proteína Microbiana

Para Broderick y Merchen (1992), la cuantificación de la síntesis de proteína microbiana es importante para la nutrición de rumiantes por diversas razones y determinar la contribución de la proteína microbiana a la proteína y requerimientos de aminoácidos del rumiante, se hizo aún más importante con los nuevos sistemas proteicos de formulación de raciones.

Karges (1990) y Klopfenstein (1996), señalan que los requerimientos proteicos del animal son cubiertos por dos fuentes de proteína; proteína microbiana sintetizada en el rumen y por proteína; de la dieta que escapa la degradación ruminal. La cantidad de proteína microbiana sintetizada está directamente influenciada por el nivel de carbohidratos digestibles en la dieta. Por otro lado, las concentraciones ruminales de  $\text{NH}_3$  son afectadas por la solubilidad y tasa de pasaje de las fuentes nitrogenadas de la dieta. En relación con lo anterior, se han estimado niveles de  $\text{NH}_3$  en rumen como óptimos para un buen crecimiento microbiano, en un rango de 5 a 23 mg/100 ml (Satter y Slyter, 1974; Ørskov, 1977).

Broderick y Merchen (1992), Firkins (1996), y Ellis *et al.*, (1999) mencionan que existe suficiente literatura sobre el gran número de factores que influyen en el crecimiento microbiano (características del alimento, frecuencia de alimentación, disponibilidad de carbohidratos, temperatura y pH ruminal, presión osmótica y tensión superficial en rumen, tasa de dilución ruminal, proteína degradable ruminalmente, grasa insaturada, recambio de protozoarios, composición proporcional de la población microbiana: bacterias / protozoarios / hongos).

Se han realizado gran cantidad de trabajos para investigar el efecto de la proteína con diferentes velocidades de degradabilidad sobre la síntesis de proteína microbiana (Karges, 1990; Villalobos, 1993; Klopfenstein, 1996; Cervantes *et al.*, 1997; Shain *et al.*, 1998; entre otros), llegando a resultados muy variables o contrastantes.

Baker y Dijkstra (1999) y Ellis *et al.*, (1999) señalan que el crecimiento bacteriano se puede definir de diversas maneras, dependiendo del propósito experimental. Así, la relación entre el suministro de proteína microbiana y el suministro de energía de la fermentación en el rumen puede ser expresado en términos de eficiencia de la síntesis de proteína microbiana por unidad de energía dietaria fermentada en el rumen. Para propósitos prácticos, esto a menudo es expresado como síntesis de proteína microbiana por unidad de materia orgánica aparente o verdaderamente digerida o fermentada en el rumen o tracto total, por unidad de materia orgánica digestible consumida, o por unidad de energía metabolizable fermentada.

Para Krelkemeler *et al.*, (1993), las estimaciones de la cantidad de proteína microbiana sintetizada en el rumen varían considerablemente y señalan que en términos generales la cantidad de proteína microbiana que fluye hacia el intestino delgado es medida en rumiantes intervenidos quirúrgicamente y provistos de cánulas duodenal y ruminal. Después de un periodo de adaptación a la dieta, se aíslan bacterias ruminales y se toman muestras de la digesta duodenal, posteriormente se realizan análisis de laboratorio y se determina la cantidad de proteína microbiana que fluye al duodeno entonces, se calcula el flujo de proteína dietaria al intestino delgado por diferencia entre el flujo de proteína total y el flujo de proteína microbiana. Este procedimiento ha sido utilizado por los investigadores durante varios años; pero tiene limitaciones, ya que no considera el flujo de nitrógeno endógeno al duodeno debido a la secreción abomasal o celular, lo que podría sobrestimar el flujo de proteína dietaria. Este procedimiento asume que una muestra de bacterias obtenidas del rumen representa el flujo de salida de las bacterias del rumen.

#### Proteína de Escape Ruminal

En la mayoría de los ingredientes utilizados en la alimentación pecuaria, predominan cuatro tipos de proteína que aplican el sobrepaso ruminal de la misma, éstas son albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas; las dos primeras son de bajo peso molecular, solubles en fluido ruminal y se encuentran normalmente en alimentos de origen vegetal, como la soya. Las prolaminas y gluteínas son de alto peso molecular y contienen grupos disulfuros, por lo que su solubilidad en fluido ruminal es baja y sobrepasan en mayor proporción el rumen. Las prolaminas se encuentran con mayor frecuencia en los subproductos de origen animal y las gluteínas se localizan principalmente en el maíz. Es conveniente señalar que el balance de los aminoácidos esenciales es mejor en las

albúminas y globulinas que en los otros tipos de proteína (Clark *et al.*, 1987; Espinoza y Espinoza, 1990; Blethen *et al.*, 1990).

Gómez (1986), señala que existe una gran variedad de ingredientes y subproductos de origen animal que pueden ser utilizados en la alimentación de rumiantes como fuente de proteína no degradable en rumen (PNDR), tales como la harina de carne, harina de sangre, harina de plumas y harina de pescado.

Klopfenstein (1993), señala que el valor de los productos proteicos de origen animal se basa principalmente en su contenido de proteína de sobrepaso o escape ruminal. La proteína de escape ruminal es aquella proteína que escapa o sobrepasa la digestión en el rumen. Con relación a esta situación, es indiscutible la importancia que tiene el perfil de aminoácidos en la PNDR, y es ideal que incluya aminoácidos esenciales tales como la metionina y lisina.

La proteína dietaria que entra al rumen puede ser fraccionada y convertida por los microorganismos a AGV y  $\text{NH}_3$ , o puede escapar la degradación y ser digerida y absorbida en el intestino delgado como aminoácidos. Las proteínas pueden ser protegidas mediante tratamientos físicos y químicos para reducir su solubilidad e incrementar la cantidad de aminoácidos digeridos en el intestino delgado (Van Soest, 1994).

Karges (1990) y Cervantes *et al.*, (1997) mencionan que en los sistemas modernos de explotación pecuaria, cuando el animal se encuentra en un estado de alta producción, la proteína microbiana por sí sola no es suficiente para cubrir los requerimientos de proteína metabolizable. Estos mismos investigadores también señalan que el uso de proteína de escape usualmente incrementa el comportamiento productivo del animal, debido a las mayores cantidades de aminoácidos esenciales que escapan la degradación ruminal y mayor digestibilidad de estas proteínas en comparación con la proteína microbiana.

La alimentación con varias fuentes de proteína de escape provoca un mejor comportamiento del animal, que cuando se ofrece una sola fuente proteica. Se han realizado muchos experimentos para evaluar la respuesta (ganancia de peso) a la proteína de escape en bovinos en crecimiento en pastoreo (Karges, 1990). También existen reportes (Karges, 1990) que indican que la suplementación con fuentes altas en proteína de escape (harina de semilla de algodón, gluten de maíz, harina de carne y harina de carne y hueso) no incrementa las ganancias de peso en comparación a la suplementación energética a partir de maíz en ganado en pastoreo.

Galyean (1996), encuestó a seis grupos de consultores en nutrición de rumiantes, responsables de los programas nutricionales de aproximadamente 3.6 millones de bovinos por año en los Estados Unidos de Norteamérica, para determinar las prácticas comunes de manejo y formulación de dietas para ganado bovino en finalización, encontrando que el porcentaje de proteína cruda en estas dietas fluctuó de 12,5 % a 14,4 %, con niveles de urea en el rango de 0,5 % a 1,5 % de la materia seca; se utilizaron dietas basadas principalmente en granos altamente procesados y de rápida fermentación. También observó que el ganado bovino en finalización es manejado con programas de implantes muy agresivos, por ello generalmente responden a niveles mayores de proteína cruda que los reportados en NRC (1984); sin embargo, los incrementos en el comportamiento observados fueron más consistentes cuando la proteína suplementaria fue aportada por fuentes degradables *vs* no degradables ruminalmente. Otra observación importante es que ninguno de los consultores formularon sus dietas por proteína de escape ruminal, su respuesta en forma consistente fue que ellos creían que la formulación con proteína de escape ruminal puede ser importante en ciertas circunstancias, pero que la información disponible era insuficiente para considerar este factor al momento de formular las dietas.

#### Requerimiento de Proteína del Rumiante

El NRC (1996), publicó los nuevos requerimientos nutricionales para bovinos productores de carne; presentando numerosos avances, incluyendo un modelo computarizado y un sistema de proteína metabolizable, que considera dos diferentes requerimientos, uno para los microorganismos y otro para el animal; además, el sistema de proteína metabolizable considera la degradabilidad ruminal de la proteína. Lardy *et al.*, (1998) señalaron que el sistema de proteína cruda asume, incorrectamente, una degradabilidad constante para todos los alimentos.

Lardy *et al.*, (1997) y Lardy *et al.*, (1998) enfatizaron en uno de los cambios más significativos de los requerimientos; esto es la forma de expresarlos, cambió de proteína cruda a proteína degradable y proteína metabolizable. Entendiendo como proteína degradable a la proteína disponible para los microorganismos ruminales, mientras que la proteína metabolizable es la proteína utilizada por el animal, siendo la suma de la proteína bacteriana digestible producida en el rumen y la proteína no degradable digestible de los alimentos consumidos por el animal.

Con base en lo anterior; Erickson *et al.*, (1998) y Villalobos (2000) señalaron que el requerimiento de proteína se puede dividir en dos: Consumo de proteína degradable, el cual es utilizado para cubrir el requerimiento de los microorganismos y consumo de proteína no degradable, como la proteína de escape ruminal y es utilizada por el animal a nivel del intestino delgado junto con la proteína microbiana que llega del rumen.

El NRC (1996), señala que la proteína cruda bacteriana puede aportar hasta el 50% del requerimiento de proteína metabolizable del bovino productor de carne. Lógicamente, la eficiencia en la síntesis de proteína cruda bacteriana es clave para cubrir los requerimientos proteicos del bovino en forma económica, así la predicción de la síntesis de proteína cruda bacteriana es un importante componente del nuevo sistema de proteína metabolizable.

Se han realizado pocos estudios para determinar o validar los requerimientos de proteína, siendo difícil determinar cuando se incrementa el consumo de energía con la suplementación proteica, si el incremento en la ganancia de peso es el resultado del incremento de proteína metabolizable ó de energía neta para ganancia (ENg), también a menudo se dificulta el determinar si el efecto es causado por la proteína degradable o por la proteína no degradable. La validación es más difícil con dietas para engorda en finalización altas en granos, pues el maíz es el grano más utilizado y éste contiene 8 % a 10 % de proteína cruda, pero aproximadamente el 60 % de la proteína escapa la digestión ruminal (NRC, 1996).

#### Suplementación Proteica a Rumiantes

Clark *et al.*, (1992) mencionaron que la deficiencia de cualquier nutrimento puede disminuir la síntesis de proteína microbiana en el rumen, el pasaje de aminoácidos al intestino delgado y la producción de leche o ganancia de peso, y que los dos factores nutricionales más frecuentemente limitantes son la energía y la proteína.

El valor de una fuente proteica suplementaria en las dietas de rumiantes, radica en su aporte de nitrógeno degradable a nivel ruminal para la síntesis de proteína microbiana y en su aporte de aminoácidos disponibles en el intestino, que potencialmente limitan el crecimiento o producción de leche (Ludden y Cecava, 1995).

Howie *et al.*, (1996) señalaron que se debe administrar proteína adicional a la proteína microbiana

para el animal en producción y que ésta puede ser en forma de proteína de escape ruminal. Sin embargo, los efectos de la alimentación con proteína de baja degradabilidad ruminal sobre el aporte intestinal y comportamiento animal han sido inconsistentes. La falta de respuesta a menudo ha sido atribuida a una inadecuada protección de la proteína, reducida digestión intestinal o a la limitación inherente de aminoácidos de la proteína dietaria.

La suplementación con proteína de baja degradabilidad ruminal debe aportar aproximadamente el 50% de la proteína dietaria total, para así alterar significativamente el perfil de aminoácidos en la digesta duodenal; pero, proveer el 50 % o más de la proteína dietaria total en forma de proteína suplementaria de baja degradabilidad ruminal, puede no ser práctico ni económico (Clark *et al.*, 1992).

Subproductos animales como la harina de sangre, harina de carne y hueso, y harina de plumas hidrolizada son altas en su contenido de proteína cruda y en proteína indegradable ruminalmente (NRC, 2001). La información sobre la disponibilidad intestinal de estas fuentes proteicas es limitada. Sin embargo, se ha reportado previamente que existen variaciones en la degradabilidad ruminal (Yoon *et al.*, 1994) y digestión intestinal (Calsamiglia y Stern, 1995) de los subproductos animales.

Igualmente, Ladely *et al.*, (1995) evaluaron diferentes fuentes nitrogenadas (urea, harina de sangre, harina de gluten de maíz) y dos tipos de grano de maíz (normal o alto en lisina) en 60 novillos de 260 kg de peso, alimentados en corral durante 102 días y no encontraron diferencias significativas en la ganancia diaria de peso, consumo de alimento ni en la conversión alimenticia por efecto del tipo de maíz y fuente de proteína empleada. Resultados similares obtuvo Flores (2007), al comparar la pasta de soya con la rezaga de garbanzo en bovinos en engorda intensiva.

Eck *et al.*, (1988), en dos experimentos evaluaron el efecto del nivel y fuente (urea, harinolina, gluten de maíz y sus combinaciones) de proteína y encontraron mayores ganancias diarias de peso con la combinación de harina de sangre y gluten de maíz.

Hernández (1997) realizó una prueba experimental por 57 días con 30 becerras de 173 kg de peso vivo promedio, con el objetivo de evaluar el efecto de tres niveles (20 %, 30 % y 40 %) de PNDR sobre la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia; y no encontró efecto de tratamiento sobre estas variables.

Dhuyvetter *et al.*, (1993) reportaron que el cambio de peso en las vacas en pastoreo en pastizales nativos, es dependiente de la calidad de la proteína disponible ruminalmente y que la adición de proteína sobrepasante puede disminuir la pérdida de peso e incrementar el porcentaje de vacas servidas al inicio del empadre.

En dos experimentos en años consecutivos, en donde se determinaron los efectos del nivel nutricional parto y el consumo de proteína sobrepasante postparto sobre el estado nutricional, producción de leche, desarrollo de la cría y comportamiento reproductivo de 126 vaquillas, se concluyó que la alimentación postparto con proteína sobrepasante incrementa las ganancias de peso en las vacas y mejora la eficiencia reproductiva indistintamente del nivel nutricional parto. Este esquema de manejo evaluado puede mejorar potencialmente la eficiencia económica de los bovinos al disminuir los costos de alimentación para mantenimiento en el invierno (sequía) o al disminuir el intervalo del anestro postparto. La conclusión más importante fue que la proteína sobrepasante en la alimentación después del parto puede actuar más como un catalizador de la actividad metabólica y hormonal, que como un satisfactor del requerimiento para la producción de leche y ganancia de peso (Wiley *et al.*, 1991).

Shain *et al.*, (1994) y Herold *et al.*, (1997) mencionaron que la suplementación de las dietas de engorda con proteína degradable para satisfacer los requerimientos de nitrógeno de los microorganismos, puede realizarse con NNP y que la urea provee amonio disponible a nivel ruminal para la síntesis de proteína microbiana y constituye una alternativa económica como fuente de proteína natural.

Cervantes *et al.*, (1997) señalaron que la urea es la forma de NNP más utilizada en dietas para rumiantes en México y la investigación acerca de su uso como fuente de proteína cruda en la dieta de los rumiantes data desde inicios del siglo pasado. Los primeros reportes indican que la urea suplementaria no debería ser superior a una tercera parte de la proteína cruda total de la dieta, es decir, menos de 1 % de la materia seca total, debido a que cantidades superiores podrían ser tóxicas o simplemente no ser útiles para el animal (NRC, 1984). Sin embargo, otras publicaciones (Sindt *et al.*, 1993 y Cervantes *et al.*, 1997), mostraron que la respuesta productiva de bovinos no se altera cuando se alimentan con dietas con 1,6 % de urea.

La pollinaza y gallinaza contienen ácido úrico, el cual puede ser utilizado como fuente de amonio de manera similar a la urea, siendo también una alternativa viable (Herold *et al.*, 1997).

Igualmente, Mejía-Haro *et al.*, (2003) condujeron dos experimentos para evaluar dos fuentes de proteína (degradable y no degradable en rumen) sobre el comportamiento productivo, fermentación ruminal y cinética digestiva de bovinos productores de carne, y de manera general concluyeron que los dos tipos de proteína presentaron similar ganancia diaria de peso, también observaron un patrón similar en la fermentación ruminal, cinética de líquidos y sólidos, digestión, flujo de nutrimentos hacia el duodeno y en la síntesis de proteína microbiana.

#### Fermentación y Cinética Digestiva

**El rumen y la fermentación ruminal.** El rumen es la cámara de fermentación más eficiente que la naturaleza tiene al servicio del hombre para la producción de alimentos. En esta cámara se inicia la transformación de los compuestos lignocelulósicos, nitrogenados y energéticos en productos útiles para el consumo del hombre. Esta transformación se realiza gracias a la simbiosis entre los microorganismos que habitan el rumen y el hospedero. La ecología ruminal es sumamente compleja y en ella intervienen una cadena de distintos microorganismos (bacterias, protozoarios y hongos) que dependen unos de otros y de las condiciones ambientales del rumen, las cuales son reguladas en forma autónoma por el animal para permitir la simbiosis (Van Soest, 1994; Baker y Dijkstra, 1999).

La fermentación en retículo-rumen es el resultado de actividades físicas y microbiológicas que transforman los componentes de la dieta en productos útiles (AGV, proteína microbiana, vitaminas), inútiles (metano, CO<sub>2</sub>) ó nocivos (NH<sub>3</sub>, nitrato) para el hospedero (Owens y Goetsch, 1988).

Para Van Soest (1994), la fermentación ruminal normal tiene lugar con un pH entre 5,5 a 7,2, también señala que en comparación con los animales no rumiantes, los rumiantes disponen de una gran capacidad gástrica, ésta es necesaria para retener las partículas fibrosas durante el tiempo necesario para que se lleve a cabo la fermentación microbiana.

La fermentación de las partículas de proteína depende de la tasa de paso a través del rumen y de las tasas de solubilidad y degradación enzimática, además de los factores químicos y físicos que afectan su degradabilidad (Leng y Nolan, 1984).

El flujo o salida del retículo-rumen hacia el omaso (ml/h o g/h) dividido por el volumen del retículo-rumen (ml ó g) proporciona la tasa fraccional de paso (h ó h<sup>-1</sup>). Esta tasa puede multiplicarse por 100 para expresarse en términos de porcentaje de pasaje por unidad de tiempo (%/h o %/h<sup>-1</sup>). Para la fracción líquida suele denominarse "tasa de dilución". Aunque los líquidos y las partículas comparten el rumen-retículo, las partículas lo abandonan más lentamente que los líquidos (Owens y Goetsch, 1988).

Ørskov (1988), afirma que la eficiencia en el crecimiento de los microorganismos ruminales depende de la disponibilidad simultánea de amonio, energía y otros nutrimentos en forma y condiciones satisfactorias.

**Uso de marcadores en nutrición animal.** En nutrición animal y más aún en nutrición de rumiantes es esencial conocer y entender los procesos digestivos, con la finalidad de comprender el grado de eficiencia con que el rumiante está utilizando el alimento consumido. Se cuenta con varias metodologías para conocer estos procesos digestivos y entre ellas está la de los marcadores.

Un marcador es un compuesto referencia utilizado para el monitoreo químico (hidrólisis y síntesis) y físico (flujo) de los aspectos de la digestión y se emplean rutinariamente para estimar el flujo de la digesta, producción fecal en rumiantes (Owens y Hanson, 1992); consumo voluntario de materia seca, llenado de la materia seca indigestible (Pond *et al.*, 1987); pasaje de sólidos y líquidos a través del tracto gastrointestinal (Huhtanen y Kukkonen, 1995) y síntesis de proteína microbiana (Broderick y Merchen, 1992).

A los marcadores se les ha clasificado en varios tipos: internos y externos (Pond *et al.*, 1987; Galyean y May, 1995) y marcadores para sólidos y líquidos (Ferreiro, 1990; Moore *et al.*, 1992); no obstante a que no existe el marcador ideal y universal, se han señalado (Kolb y Luckey, 1972; Owens y Hanson, 1992; Galyean y May, 1995) algunas de las características que deben tener los marcadores: ser inertes, sin efectos negativos o tóxicos para el animal o su microbiota, no afectar o ser afectado por el tracto digestivo, no absorbible, debe fluir paralelamente o ser físicamente similar y asociado con el material marcado, y debe tener un método específico y sensitivo de cuantificación.

Dada la importancia que tiene la medición de la proteína microbiana en el rumen, es necesario cuantificar la proteína de escape de la dieta y la síntesis microbiana, por lo que se recurre al uso de marcadores

microbiales, los cuales, según Broderick y Merchen (1992), se pueden clasificar como marcadores internos (inherentemente presentes en los microorganismos; ejemplo, ácido 2,6-diaminopimélico, D-alanina, ácido aminoetilfosfónico, ácidos nucleicos, adenosin trifosfato) y externos (marcadores infundidos al rumen para marcar los microorganismos; ejemplo,  $^{15}\text{N}$ , isótopos radioactivos).

Los investigadores anteriores señalaron que un marcador microbiano ideal deberá tener las siguientes características: 1) Fácil de cuantificar, 2) No estar presente en el alimento, 3) Presente en rangos constantes bajo condiciones experimentales específicas, y 4) Biológicamente estable. En este sentido, Obispo y Dehority (1999), agregaron cuatro características para un marcador microbiano: 1) No absorberse, 2) Encontrarse presente en porcentajes similares en varios tipos de microorganismos (bacterias, protozoarios y hongos), 3) Estar presente en forma constante en las células microbiales en todos los estados de crecimiento, y 4) Presentar tasas de flujo similares.

**Teoría compartamental.** Van Soest (1994), menciona que la secuencia digestiva puede ser fraccionada en compartimentos, existiendo la tendencia a ver matemáticamente al tracto digestivo del rumiante como un sistema bicompartimental; el primer y mayor compartimento corresponde al retículo-rumen y el segundo es el tracto digestivo bajo. Así, el alimento ingerido y el agua desaparecen de un compartimento en dos formas; a través de la digestión y absorción y a través del pasaje, consecuentemente, estos dos procesos compiten por el mismo material.

De acuerdo con Huhtanen y Kukkonen (1995), hay varios métodos disponibles para estimar el pasaje de las partículas de la digesta a través del tracto digestivo del rumiante. Grovum y Williams (1973), describieron un modelo con dos compartimentos independientes del tiempo y un tiempo de tránsito, en el que los parámetros se estiman por medio de la concentración del marcador, transformada a su logaritmo natural.

**Cinética de sólidos y líquidos.** La digestión en el rumiante es un proceso dinámico e involucra el flujo de alimento, líquido, bacterias y residuos de alimento indigestible en rumen, a través del omaso a la porción baja del tracto gastrointestinal (Van Soest, 1994).

Según Cork *et al.*, (1999) la investigación en nutrición de rumiantes inicialmente consideraba la res-

puesta del animal a los cambios en la dieta e involucraba un enfoque fuerte en los modelos mecanísticos para predecir la respuesta del animal, a partir del entendimiento de procesos fisiológicos y metabólicos. Se ha investigado el tiempo medio de retención en el tracto digestivo con particular atención al pasaje diferencial de solutos. El tiempo empleado por los residuos no digeridos en el intestino (y sus segmentos) es de interés, debido a que es el tiempo disponible para la digestión y porque está inversamente relacionado al consumo voluntario del alimento. Este tiempo es medido como tiempo medio de retención. Sin embargo, debido a que la digestión, absorción y el flujo ocurren simultáneamente, el tiempo medio de retención en el tracto digestivo total no puede ser medido directamente. Para estas mediciones pueden utilizarse marcadores adecuados (Cork *et al.*, 1999).

La tasa de pasaje, matemáticamente y en sentido estricto, se refiere al pasaje o flujo de la materia indigestible a través del tracto digestivo. El recambio ruminal (obtenido al dividir el volumen ruminal por el consumo) está en función de la tasa de digestión y de la tasa de pasaje. Entonces, la tasa de digestión es definida como la cantidad de alimento que puede ser digerido por unidad de tiempo; siendo esta variable una función esencialmente de la dieta, ya que su composición, calidad, deficiencia, exceso y disponibilidad de nutrimentos determinan la velocidad de la digestión (Van Soest, 1994).

Ellis *et al.*, (1999) señalaron que la cinética de la digestión ruminal puede ser estimada con adecuada exactitud a través de simples procedimientos ruminales *in situ*. En contraste, las de escape ruminal de nutrimentos son el resultado de interacciones forraje-animal que deben ser medidas *in vivo*. La metodología para estimar las tasas de escape es laboriosa y pobremente entendida, consecuentemente, estas son a menudo estimadas con errores y algunas de las veces las tasas de escape ruminal no son experimentalmente estimadas sino que son asumidas.

## CONCLUSIONES

Actualmente, en el campo de la nutrición de los bovinos productores de carne, no sólo es importante la energía, ya que el nivel y calidad de la proteína es fundamental en la respuesta productiva de los animales y es la clave para lograr las mayores utilidades en cualquier operación ganadera bajo condiciones de pastoreo.

## REFERENCIAS

- Argyle, J. L. y Baldwin, R. L. (1989). Effects of amino acids and peptides on rumen microbial growth yields. *J. Dairy Sci.* 72:2017.
- Baker, S. K. y Dijkstra, J. (1999). Dynamic aspects of the microbial ecosystem of the reticulo-rumen. En: Jung, H. G y G. C. Fahey (Ed.) *Proceedings of the V<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. American Society of Animal Science. Illinois, USA.
- Blethen, D. B., Wohlt, J.E., Jasaitis, D. K y Evans, J. L. (1990). Feed protein relationship to nitrogen solubility and degradability. *J. Dairy Sci.* 73:1544.
- Broderick, G. A. (1996). Introduction. En: Conference: Altering Ruminant Nitrogen Metabolism to Improve Protein Utilization. *J. Nutr.* 126:1324s.
- Broderick, G. A. y Merchen, N. R. (1992). Markers for quantifying microbial synthesis in the rumen. *J. Dairy Sci.* 75:2618.
- Calsamiglia, S y Stern, M. D. (1995). A three-step in vitro procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. *J. Anim. Sci.* 73:1459.
- Cervantes, R. M., Ceseña, A. M. y Zinn, R. A. (1997). Flujo y digestión de nutrientes en vaquillas Holstein alimentadas con dietas a base de urea o harinolina como fuentes principales de proteína cruda. *Agrociencia.* 31:247.
- Clark, J. H., Murphy, M. R. y Crooker, B. A. (1987). Symposium: Alternate feed source for dairy cattle: supplying the protein needs of dairy cattle from by-products feed. *J. Dairy Sci.* 70:1092.
- Clark, J. H., Klumeyer, T. H. y Cameron, M. R. (1992). Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2304.
- Coleman, S. W., Lippke, H. y Gill, M. (1999). Estimating the nutritive potential of forages. En: Jung, H. G y G. C. Fahey (Ed.) *Proceedings of the V<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. American Society of Animal Science. Illinois, USA.
- Cork, S. J., Hume, Y. D. y Faichney, G. J. (1999). Digestive strategies of nonruminant herbivores: the role of the hindgut. En: Jung, H. G y G. C. Fahey (Ed.) *Proceedings of the V<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. American Society of Animal Science. Illinois, USA.
- Dhuyvetter, D. V., Petersen, M. K., Ansoategui, R. P., Bellows, R. A., Nisley, B., Brownson, R. y Tess, M.W. (1993). Reproductive efficiency of range beef cows fed different quantities of ruminally undegradable protein before breeding. *J. Anim. Sci.* 71:2586.
- Eck, T. P., Bartle, S. J., Preston, R. L., Brandt Jr., R. T. y Richardson, C. R. (1988). Protein source and level for incoming feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 66:1871.
- Ellis, W. C., Poppi, D. P., Matis, J. H., Lippke, H., Hill, T. M. y Rouquette Jr., F. M. (1999). Dietary-digestive-metabolic interactions determining the nutritive potential of ruminant diets. En: Jung, H. G y G. C. Fahey (Ed.) *Proceedings of the V<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. American Society of Animal Science. Illinois, USA.
- Erickson, G., Milton, T. y Klopfenstein, T. (1998). Evaluation of 1996 NRC for protein and phosphorus requirements of finishing cattle. *Nebraska Beef Cattle Report* MP 69-A. p 84.
- Espinoza, J. J. y Espinoza, R. S. (1990). Algunos factores que afectan la degradabilidad ruminal de la proteína. En: *Memorias de la Tercera Reunión de Nutrición Animal*. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah.
- Ferreiro, G. H. M. (1990). Técnicas usadas para medir la cinética ruminal de líquidos y sólidos en el tubo gastrointestinal. En: Castellanos, R. A., G. Llamas y A. Shimada (Ed.). *Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología*. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, A. C. p 79.
- Firkins, J. L. (1996). Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. *J. Nutr.* 126:1347s.
- Flores, A. L. R. (2007). *Determinación del valor nutricional de la rezaga de garbanzo (Cicer arietinum L.) en dietas para bovinos en engorda intensiva*. Tesis Doctoral. Universidad de Guadalajara. México.
- Galyean, M. L. (1996). Protein levels in beef cattle finishing diets: industry application, university research, and system results. *J. Anim. Sci.* 74: 2860.
- Galyean, M. y May, T. (1995). *Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research*. New Mexico State University. Department of Animal and Range Sciences.
- Gómez, A. R. (1986). Harinas de origen animal. En: Shimada, A. S., F. G. Rodríguez y J. A. Cuaron (Ed.). *Engorda de ganado bovino en corral*. Consultores en Producción Animal, S. C. México.
- Grovum, W. L. y Williams, V. J. (1973). Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. *Br. J. Nutr.* 30:313.
- Hernández, R. J. M. (1997). *Efecto del nivel de proteína de escape ruminal sobre el comportamiento productivo y parámetros ruminales en bovinos de carne en etapa de crecimiento*. Tesis Maestría. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México.
- Herold, D., Downs, D., Klopfenstein, T. y Klemesrud, M. (1997). Effect of dried poultry waste on performance of finishing yearling steers. *Nebraska Beef Cattle Report* MP 67-A. p 67.
- Herrera-Saldaña, R. (1990). La importancia de la sincronización en la degradación ruminal de las fuentes de nitrógeno y energía en la alimentación de rumiantes. En: *Memorias de la Tercera Reunión de Nutrición Animal*. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. Mex.
- Howie, S. A., Calsamiglia, S. y Stern, M. D. (1996). Variation in ruminal degradation and intestinal digestion of animal byproduct proteins. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63:1.
- Huhtanen, P. y Kukkonen, U. (1995). Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetics in cattle fed at two levels of intake. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52:141.
- Huntington, G. B. (1999). Nutrient metabolism by gastrointestinal tissues of herbivores. En: Jung, H. G y G. C. Fahey (Ed.) *Proceedings of the V<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. American Society of Animal Science. Illinois, USA.
- Jouany, J. (1996). Effect of rumen protozoa on nitrogen utilization by ruminants. *J. Nutr.* 126:1335s.
- Karges, K. K. (1990). Effects of rumen degradable and escape protein on cattle response to supplemental protein on native pasture. M. S. Thesis. University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
- Kartchner, R. J. (1981). Effects of protein and energy supplementation of grazing native winter range forage on intake and digestibility. *J. Anim. Sci.* 51:432.

- Klopfenstein, T. (1993). Feeding animal protein products, alternative feeds. Accessible en: [http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/FEE-DING\\_ANIMAL\\_PROTEIN\\_PRODUCTS\\_ALTERNATIVE\\_FEEDS.html](http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/FEE-DING_ANIMAL_PROTEIN_PRODUCTS_ALTERNATIVE_FEEDS.html). Accesado en Mayo de 1997.
- Klopfenstein, T. (1996). Need for escape protein by grazing cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60:191.
- Kolb, A. K. y Luckey, T. D. (1972). Markers in nutrition. *Nutr. Abstr. Rev.* 42:813.
- Krelkemeler, K. K., Rupp, G. P. y Perino, L. J. (1993). Omasal and duodenal nutrient flow in steers. *Beef Research Progress Report* No 4. USDA. University of Nebraska College of Agriculture.
- Ladely, S. R., Stock, R. A., Klopfenstein, T. J. y Sindt, M. H. (1995). High-lysine corn as a source of protein and energy for finishing calves. *J. Anim. Sci.* 73: 228.
- Lardy, G., Adams, D., Klopfenstein, T. y Brink, D. (1998). Use of the NRC model for evaluating nutrient balances of grazing beef cattle. *Nebraska Beef Cattle Report*. MP 69-A. p 7.
- Lardy, G., Adams, D., Klopfenstein, T., Clark, D. y Lamb, J. (1997). Seasonal changes in protein degradabilities of sandhills native range and subirrigated meadow diets and application of a metabolizable protein system. *Nebraska Beef Cattle Report*. MP 67-A. p 3.
- Leng, R. A. y Nolan, J. V. (1984). Symposium: Protein nutrition of the lactating dairy cow. Nitrogen metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 67:1072.
- Ludden, P. A. y Cecava, M. J. (1995). Supplemental protein sources for steers fed corn-based diets: I. Ruminant characteristics and intestinal amino acid flows. *J. Anim. Sci.* 73:1466.
- Mejía-Haro J., Ruiz-Barrera, O., Jiménez-Castro, J. A. y Mejía-Haro, I. (2003). Efecto de dos fuentes de proteína de degradabilidad ruminal diferente sobre el crecimiento y procesos digestivos en bovinos productores de carne. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 11(2):101-110.
- Moore, J. A., Pond, K. R., Poore, M. H. y Goodwin, T. G. (1992). Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. *J. Anim. Sci.* 70:3528.
- Nocek, J. E. (1988). In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A Review. *J. Dairy Sci.* 71:2051.
- NRC. (1984). *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (6th ed.). National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC. (1996). *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (7th ed.). National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th ed.). National Academy Press. Washington, D. C.
- Obispo, N. E. y Dehority, B. A. (1999). Feasibility of using total purines as a marker for ruminal bacteria. *J. Anim. Sci.* 77:3084.
- Ørskov, E. R. (1977). Capacity for digestion and effects of composition of absorbed nutrients on animal metabolism. *J. Anim. Sci.* 45:600.
- Ørskov, E. R. (1988). *Protein Nutrition in Ruminants*. Academic Press Inc., San Diego, CA.
- Owens, F. N. y Goetsch, A. L. (1988). Ruminal fermentation. En: *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*. Church, D. C. (Ed.). Prentice Hall, Englewood Cliffs. N. J. p 145.
- Owens, F. N. y Hanson, C. F. (1992). External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *J. Dairy Sci.* 75:2605.
- Owens, F. N. y Zinn, R. A. (1988). Protein Metabolism of Ruminant Animals. In: D. C. Church (Ed.). *The Ruminant Animal-Digestive Physiology and Nutrition*. Prentice Hall, New Jersey.
- Pond, K. R., Burns, J. C. y Fisher, D. S. (1987). External markers-use and methodology in grazing studies. *Proceeding, Grazing Livestock Nutrition Conference*. University of Wyoming. p 49.
- Poss-Floyd, M., Klopfenstein, T. y Briton, R. A. (1985). Evaluation of laboratory techniques for predicting ruminal protein degradation. *J. Dairy Sci.* 68:829.
- Satter, L. D., Jung, H. G., Van Vuuren, A. M. y Engels, F. M. (1999). Challenges in the nutrition of high-producing ruminants. En: Jung, H. G y G. C. Fahey (Ed.) *Proceedings of the V<sup>th</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. American Society of Animal Science. Illinois, USA.
- Satter, L. D. y Slyter, L. L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *Brit. J. Nutr.* 32:199.
- Shain, D. H., Stock, R. A., Klopfenstein, T. J. y Herold, D. W. (1998). Effect of degradable intake protein level on finishing cattle performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 76:242.
- Shain, D. H., Stock, R. A., Klopfenstein, T. J. y Huffman, R. P. (1994). Level of rumen degradable nitrogen in finishing cattle diets. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl. 1):923 (abstr.).
- Sindt, M. H., Stock, R. A., Klopfenstein, T. J. y Vleselmeyer, B. A. (1993). Protein sources for finishing calves as affected by management system. *J. Anim. Sci.* 71:740.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Second Ed. Cornell University Press. Ithaca, N. Y.
- Villalobos, G. (1993). Integration of complementary forage with native range for efficient beef production in the sandhills of Nebraska. *Ph. D. Diss.* University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
- Villalobos, G. C. (2000). Interrelación de suplementos proteicos y energéticos con la calidad del forraje de animales en pastoreo. En: *Memoria de VIII Congreso Internacional de Nutrición Animal*. Chihuahua, Chih. México.
- Wiley, J. S., Petersen, M. K., Ansotegui, R. P. y Bellows, R. A. (1991). Production from first-calf beef heifers fed a maintenance or low level of prepartum nutrition and ruminally undegradable or degradable protein postpartum. *J. Anim. Sci.* 69:4279.
- Yoon, I. K., Calsamiglia, S., Crooker, B. A. y Stern, M. D. (1994). Estimation of absorbable fish meal protein for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl. 1):386.