

MANEJO NUTRICIONAL PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EN BOVINOS

Nutritional management to improve efficiency in the use of energy in ruminants

GD Mendoza-Martínez ✉, FX Plata-Pérez, R Espinosa-Cervantes, A Lara-Bueno

(GDMM, FXPP, REC) Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco Departamento de Producción Agrícola y Animal Calzada del Hueso 1100 México D.F. 04960 gmendoza@correo.xoc.uam.mx
(ALB) Universidad Autónoma Chapingo

Ensayo recibido: 10 de febrero de 2006, **aceptado:** 24 de marzo de 2008

RESUMEN. Los sistemas de producción de bovinos difieren en la eficiencia de utilización de la energía. Las transformaciones en el proceso de la partición de la energía de los rumiantes deberían ser estudiadas para buscar alternativas de manejo nutricional que permitan reducir las pérdidas e incrementar la energía retenida en productos utilizables. Las prácticas que permitan incrementar la digestibilidad del alimento, repercutirán en un mayor consumo de energía digestible, tales como consumo adecuado de N, aditivos como enzimas exógenas, y algunos tratamientos de esquilmos o de granos. Para incrementar la energía metabolizable (EM) es necesario reducir las pérdidas de energía en orina y en gases de la fermentación. Para lo primero se deben de evitar excesos de compuestos nitrogenados degradables en rumen en la dieta y el uso de amino ácidos protegidos de la degradación ruminal. Para lo segundo habrá que considerar los productos finales de la fermentación de acuerdo a la relación forraje:concentrado y el uso de ionóforos. Para aumentar la energía neta, es necesario reducir el calor producido, lo cual no es sencillo dado que existe producción de calor asociada con el metabolismo basal, la actividad y el intercambio calórico y el consumo de EM. Es importante considerar las posibles estrategias nutricionales que puedan incrementar la eficiencia de utilización de la energía en los diferentes sistemas de producción.

Palabras clave: Energía, eficiencia, sistemas, bovinos.

ABSTRACT. Production systems of ruminants present different efficiencies in the use of energy. The transformations that take place in the process of energy partition in ruminants should be studied in order to reach alternatives of nutritional management that result in a reduction of losses and an increase in the energy retained in usable products. Actions that favour an increase in the digestibility of feed will result in a greater intake of digestible energy. These include an adequate N intake, additives such as exogenous enzymes and some treatments for residues or grains. In order to increase metabolisable energy (ME), it is necessary to reduce energy losses in urine and fermentation gases. For the first, excesses of degradable N compounds in the rumen should be avoided in the diet and the use of ruminally protected amino acids. For the second, the end products of fermentation in accordance with the forage:concentrate ratio and the use of ionophores should be considered. In order to increase net energy, it is necessary to reduce heat production, which is not easy as there is heat production associated with basal metabolism, activity and caloric exchange, and intake of ME. It is important to consider the possible nutritional strategies that may increase the efficiency of energy use in the different production systems.

Key words: Energy, efficiency, systems, ruminants.

INTRODUCCIÓN

En México los diversos sistemas de producción de bovinos van desde la ganadería de traspatio hasta el pastoreo en todas las regiones climáticas, con sistemas que tienen un alto grado de tecnifica-

ción (Herrera *et al.* 1998). Toda esta variedad con su diversidad de componentes (razas, clima, manejo, condición sanitaria, entre otros) impactan la eficiencia de utilización de la energía, los requerimientos del animal y la productividad de carne o leche. Un ejemplo particular son los sistemas lecheros a pe-

queña escala en la región central del país, donde las estrategias nutricionales tradicionales son menos efectivas cuando la disponibilidad de nutrientes varían a lo largo del año (Val-Arreola *et al.* 2005).

El crecimiento poblacional y el fenómeno de la urbanización resultan en una demanda mayor en el requerimiento de alimentos de origen animal, por lo que es necesario que se incremente la producción de carne de bovino en un 18 % y la de leche en un 45 % para cubrir la demanda de estos productos (de Boer *et al.* 1994). La producción anual de carne y leche de bovinos en países desarrollados es casi cinco veces mayor que la producida en subdesarrollados (de Boer *et al.* 1994). En México se estima que la población total de bovinos es alrededor de 28 millones de cabezas y que el 30 % se encuentra en sistemas de tipo familiar o de traspatio y el 70 % tiene cierto grado de tecnificación (Herrera *et al.* 1998), por lo que el impacto en mejorar la eficiencia de utilización de la energía es una de las alternativas más viables para responder a los retos de la producción de alimentos de bovino.

Los modelos que predicen la respuesta a la producción del ganado son el resultado de las diferencias en el nivel de nutrición y están basados en la partición del consumo de energía entre mantenimiento y las funciones de crecimiento o producción (Anónimo 2000) y son de utilidad para evaluar las dietas y cambios en tecnología en los distintos sistemas de producción. Webster (1978) definió que el requerimiento de mantenimiento de un animal como la cantidad de energía metabolizable que exactamente equilibraría la producción de calor y no producir ninguna pérdida o ganancia en las reservas de energía del cuerpo. Una condición necesaria para esta definición es que el animal debe estar en equilibrio con respecto a su peso y a su composición corporal.

Los requerimientos de energía de los bovinos son complejos y cambian dependiendo de la raza, sexo, estado fisiológico y por una gran variedad de factores ambientales. Además la composición de los nutrientes y el valor energético de los alimentos varía ampliamente de acuerdo a las diferencias genéticas de la planta, estado fenológico, fertilización, irrigación y a la época de corte (Anónimo 1996; Abas *et al.* 2005) es por eso que se puede apreciar un

gran cambio en los valores publicados anteriormente (Anónimo 1976) con los estándares más recientes (Anónimo 2000). El metabolismo energético, es decir todas las reacciones químicas en el organismo, son llevadas a cabo por la energía obtenida en el alimento, y en ocasiones por tejido movilizado (Anónimo 1981). De tal forma que el objetivo de este documento es revisar los conceptos básicos del metabolismo energético y posteriormente por analizar las posibilidades de manipulación por medio de manejo nutricional y el uso de aditivos que puedan mejorar la eficiencia de utilización de la energía en los sistemas de producción de bovinos.

PARTICIÓN DE LA ENERGÍA Y NUTRICIÓN

Todas las leyes de la termodinámica se aplican a los animales vivos en sus sistemas de producción. Generalmente en todos los cursos y textos de nutrición, se revisa la partición de la energía (Anónimo 1981; Mendoza *et al.* 2003a) y los altos costos de alimentación en el ganado dependen de la eficiencia y productividad de los alimentos usados para mantenimiento y crecimiento. Por lo que es importante identificar aquellas etapas donde se puede reducir la pérdida de energía, para tratar de obtener mayor beneficio en los bovinos y sus productos. Es fundamental mencionar que existe una considerable variación fenotípica y genética en las determinaciones de la eficiencia alimenticia en el ganado, como es la conversión de alimento, el consumo voluntario y la eficiencia parcial de crecimiento (Nkrumah *et al.* 2006).

Recientemente, en becerros Angus se detectaron diferencias metabólicas significativas mediante la selección divergente para el consumo voluntario (Richardson & Heard 2004). Generalmente existe una variación considerable entre la energía usada en el ganado y la partición de la energía. Esta variación esta principalmente relacionada a las diferencias en la pérdida de energía de la dieta (fecal, metano y orina), la producción de calor y la retención de energía (Basarab *et al.* 2003).

El calor de combustión o la energía bruta (EB) es la energía liberada como calor cuando una sustancia orgánica es oxidada completamente a dióxido

de carbón y agua. También se le denomina calor de combustión y se mide en una bomba calorimétrica (Anónimo 1981). Es importante entender que el valor de energía bruta no es un indicador de la calidad de un alimento. Por ejemplo, un rastrojo de maíz y un grano pueden tener el mismo calor de combustión, pero se sabe que la producción de una dieta con uno u otro son diferentes, por lo que es necesario conocer como se fracciona la utilización de la energía. Sin embargo, la energía bruta de una molécula de glucosa es la misma si proviene de almidón o de celulosa y la energía obtenida estará en función del tracto gastrointestinal del organismo que la consume.

DISCUSIÓN

Energía digestible y digestibilidad

La energía digestible aparente (ED) se define (Anónimo 1981) como la energía consumida menos la energía en heces (EH):

$$ED = \text{consumo de EB} - EH$$

De acuerdo con esta relación, todos aquellos factores en la alimentación de los bovinos que afectan la digestibilidad, van a impactar el consumo de energía digestible. En raciones basadas en esquilmos deficientes en nitrógeno, la complementación con proteína o con nitrógeno no proteínico, ha incrementado la digestibilidad (Ramos *et al.* 1998; Cabrera *et al.* 2000; Aranda *et al.* 2001) y lo mismo ha sucedido en dietas altas en granos con bajos niveles de proteína degradable en rumen (Mendoza *et al.* 1995a).

La digestibilidad puede afectarse por el nivel de consumo y por la relación de competencia que existe entre la tasa de digestión y la tasa de pasaje (Allen & Mertens 1988), así que factores tanto dietarios como ambientales que alteren el consumo, pueden repercutir en la energía digestible ingerida (Mendoza *et al.* 2003b).

Russell & Gahr (2000) detectaron diferencias individuales en el ganado cuando estudiaron mecanismos como la digestión y absorción ruminal, el tiempo de retención, comportamiento alimenticio y concluyeron que dichos factores podrían contribuir

a la variación individual en la digestibilidad de la dieta.

En sistemas de alimentación basados en esquilmos o en pastos tropicales con deficiencia de nitrógeno una de las principales limitantes en la obtención de energía digestible es la deficiencia de proteína degradable en rumen (Ramos *et al.* 1998). Si bien la suplementación con compuestos nitrogenados puede incrementar la digestibilidad, un exceso de carbohidratos fermentables puede reducir la digestibilidad de la fibra de la ración y causar un efecto asociativo negativo (Aranda *et al.* 2003; Plata *et al.* 1994), lo que produce menos energía digestible del forraje.

El uso de aditivos puede tener efectos en la digestibilidad. Un ejemplo son los cultivos de levadura de *Saccharomyces cerevisiae*. En algunos experimentos se ha incrementado la digestibilidad y el consumo en raciones basadas en esquilmos agrícolas (Roa *et al.* 1997; Mendoza *et al.* 1995b). Sin embargo, en otros casos no ha habido efectos (Cabrera *et al.* 2000) aún a diferentes dosis (Crosby *et al.* 2004) o con distintos productos comerciales (Ángeles *et al.* 1998; Corona *et al.* 1999; Arcos *et al.* 2000). Esta falta de consistencia en la respuesta puede relacionarse a las características de la fibra detergente neutro (FDN) de los esquilmos (Roa *et al.* 1997). Por lo que en general no es recomendable usar cultivos de levadura en alimentación de rumiantes con esquilmos de baja calidad.

Recientemente se están usando enzimas exógenas fibrolíticas (Beauchemin *et al.* 2003), las cuales han mostrado efectos benéficos en bovinos alimentados con caña de azúcar (Gómez *et al.* 2003), y los estudios *in vitro* indican que tienen potencial para ser usados en dietas con forrajes de baja calidad, así como en bovinos en pastoreo y alimentados con caña de azúcar (Pinos *et al.* 2001; Tirado *et al.* 2001; Aranda 2000). Los resultados *in vivo* de varios estudios muestran un aumento en la digestión de la FDN de dos a tres unidades porcentuales (Beauchemin *et al.* 1995; Feng *et al.* 1992). Los resultados publicados por Gómez *et al.* (2003) mostraron incrementos en la digestibilidad de 10 unidades porcentuales *in vivo* y un incremento en la ganancia de peso hasta del 40 % al aumentar la dosis de enzima

en bovinos que pastorearon pasto estrella complementado con caña de azúcar con urea.

Las evidencias muestran que el uso de enzimas fibrolíticas en las dietas con forraje puede mejorar la digestibilidad de la fibra (Beauchemin et al. 1995; Feng et al. 1992). Además, el incremento en la digestibilidad también dependerá del estado fisiológico del animal por los efectos del consumo y la tasa de pasaje. Los resultados del uso de enzimas fibrolíticas en las dietas altas en granos indican que en condiciones donde la digestión de la fibra es limitante, estos aditivos pueden ayudar a incrementar la digestibilidad del forraje. El uso de la enzima Xilanas en una dieta con 95 % cebada mejoró la eficiencia alimenticia entre 6 a 12 %, aunque su variación es dependiente de la dosis de enzima (Beauchemin et al. 1997; Beauchemin et al. 1999). El aumento de la eficiencia alimenticia fue debido a un incremento en la digestibilidad de la dieta. Similarmente, Krause et al. (1998) detectaron un 28 % de incremento en la digestibilidad de Fibra Detergente Acida con un producto parecido en una dieta alta en concentrado. McAllister et al. (1999) evaluando otra enzima xilanolítica de origen fungal mencionaron que el forraje (ryegrass ensilado; 30 % de la dieta) y grano (cebada, 70 % de la dieta) tratado con 3.5 L/t (Finnfeeds internacional) de MS incrementó la ganancia diaria de peso en un 10 %. A pesar de los beneficios potenciales del uso de enzimas exógenas, la adopción de la tecnología enzimática por la industria ganadera ha sido lenta debido al costo relativamente alto de los productos, cuando es comparado con los ionóforos, los antibióticos y los implantes. Por el momento, existen poca disponibilidad de los productos enzimáticos en la industria de la carne y la mayoría de éstos productos no ha sido evaluado ampliamente (Beauchemin et al. 2003). Los productos enzimáticos han sido usados con mayor frecuencia en la producción de leche debido a que en la dieta de ganado lechero se requiere una mayor proporción de forraje y por lo tanto existe mayor sustrato para que funcionen las enzimas exógenas fibrolíticas.

Los tratamientos fisicoquímicos de los granos (Ortega & Mendoza 2003), que gelatinizan el almidón (Plata et al. 2004), incrementan la energía digestible a nivel ruminal derivados del almidón y

mejoran la ganancia de peso y la eficiencia de utilización del alimento (Mendoza et al. 1993). Resultados *in vitro* e *in vivo* (Mora et al. 2001) detectaron el incremento de la digestibilidad del almidón y el aumento de la eficiencia de utilización del alimento en ovinos alimentados con dietas altas en sorgo al adicionar enzimas amilolíticas exógenas (Rojo et al. 2001; Rojo et al. 2005). A pesar de que las enzimas amilolíticas han recibido poca atención, existen varias cepas de *Bacillus licheniformis* (Ingle & Erickson 1978) que producen enzimas que tienen actividad en condiciones cercanas a las características fisicoquímicas de los microorganismos del rumen. Por ejemplo, la amilasa del *Bacillus licheniformis* tuvo una actividad de 4.19 unidades/mg proteína, la glucoamilasa industrial de *Aspergillus niger* 1.95 y la de los microorganismos ruminales de 0.06, lo que representa alrededor de 69 y 32 veces mayor actividad que las encontradas en condiciones naturales (Rojo et al. 2001). Es importante mencionar que no se han realizado estudios con bovinos con este tipo de enzimas. Las posibilidades de la aplicación de la enzima serán a corto plazo en los sistemas de producción en rumiantes, y desde el punto de vista del metabolismo de energía permitirán obtener mayor cantidad de energía digestible para el bovino alimentado con granos.

A pesar de que la adaptación de los microorganismos a las dietas altas en almidón esta bien documentada, poco es conocido sobre la adaptación del sistema enzimático gastrointestinal y la absorción de glucosa. Por lo que es posible que existan variaciones entre animales en la capacidad para digerir el almidón (Channon et al. 2004).

Energía metabolizable

La utilización de la energía por los tejidos (por ejemplo, músculo, hígado y glándula mamaria) depende parcialmente de la partición de la energía metabolizable (EM) entre los compartimentos de los tejidos. Antes de que la energía ingerida se use para la síntesis de nuevos tejidos, deben reunirse ciertas demandas esenciales para mantener el tejido. El nivel de alimentación relativo (RFL por sus siglas en inglés: RFL = 1 cuando el consumo de EM es igual a los requerimientos de EM para mantenimien-

to) puede modificar esta partición. Sin embargo, los efectos del nivel de alimentación en la partición de nutrientes han sido estudiados en animales alimentados con dietas por arriba de los requerimientos de mantenimiento, pero el impacto de un cambio en las prioridades de los nutrientes es disimulado cuando el suministro de nutrientes es abundante. Los animales responden diferente a la disponibilidad y variedad del alimento, eso afecta la respuesta del animal durante y después de un período de desnutrición (Witten 2003).

Los productos finales más importantes de la digestión y fermentación ruminal son energía en forma de ácidos grasos volátiles y compuestos nitrogenados transformados en forma de proteína microbiana y la proteína de la dieta sin degradar. Estos productos finales son absorbidos en el tracto digestivo y se incorporan al metabolismo celular. El modelo de metabolismo intermediario considera la absorción de metabolitos de la sangre y su deposición en diferentes tejidos. A continuación se describen los nutrientes que son considerados ingresos en el modelo: la absorción de acetato (CH_3COOH), butirato ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$), ácidos grasos de cadena larga, estearato ($\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6$), propionato ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$), glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) y aminoácidos, los cuales son denominados como AAc, ABu, ASt, APr, AGt y AAa respectivamente. La absorción de nutrientes en el rumen es expresado en moles/día. El acetato, el butirato, estearato y parte del propionato son metabolizados a CO_2 y glucosa, el glicerol la mitad de tristearina (estearato) y el remanente de propionato a C6. La energía absorbida (Absen) de los nutrientes es calculada con la siguiente ecuación:

$$\text{Absen (MJ/mol)} = \sum_{n=1}^n H_i A_i$$

donde H_i es el calor de combustión por mol de sustancia y A_i es la cantidad del i th nutriente absorbido. Se ha asumido que la pérdida de calor durante la fermentación (Fermen) es del 6% de la energía absorbida (Absen), esto es, $\text{Fermen} = 0.06 \times \text{Absen}$. La energía metabolizable de la dieta, es la pérdida de calor de la fermentación más la energía absorbida menos la energía excretada como urea. Esto es $\text{EM} = \text{Absen} + \text{Fermen} - \text{Urea}$ (Witten 2003).

Otra manera de representar la energía metabolizable (EM), es que constituye la energía del alimento menos la energía perdida en heces (EH), orina (EO) y en gas (EG):

$$\text{EM} = \text{consumo de EB} - [\text{EH} + \text{EO} + \text{EG}]$$

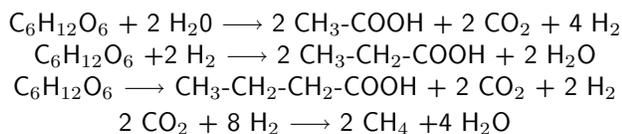
La energía de los gases incluye los de la fermentación microbiana (Anónimo 1981). El metano es el principal gas en los rumiantes. Otros gases que se producen en concentraciones menores son el hidrógeno, el dióxido de carbono, sulfuro de azufre y la acetona. Alrededor del 12% de la energía se pierde en forma de metano, lo cual ha llevado a los científicos a desarrollar aditivos para reducir estas pérdidas.

Los ionóforos adicionados a la dieta hacen más eficiente la fermentación ruminal, lo que ha resultado en un incremento en la proporción de propionato a acetato (Cobos *et al.* 2005), lo cual está asociado a una reducción en la producción de metano (CH_4) (García *et al.* 2000; Tedeschi *et al.* 2003). Los ionóforos disminuyen la producción de metano debido al cambio en la población microbiana del rumen de bacterias Gram + a Gram -, que son bacterias que producen diferentes tipos de ácidos como: láctico, acético, butírico, fórmico e hidrógeno. Esto explica en parte los beneficios encontrados al adicionar estos compuestos como la monensina sódica en dietas para bovinos (Erickson *et al.* 2003). En una revisión de varios experimentos, Tedeschi *et al.* (2003) demostraron que cuando se adicionó monensina en la dieta de ganado de carne hubo mejora de la eficiencia alimenticia. En las dietas a base de grano, la eficiencia alimenticia se mejoró por la reducción en el consumo de materia seca, dado que generalmente no se presentan cambios o los efectos benéficos son menores en la ganancia diaria de peso. En contraste, en las dietas a base de forraje, la GDP tuvo un incremento cuando se usó la monensina en el alimento. Goodrich *et al.* (1984) mostraron que en el ganado de carne alimentado con dietas con monensina promedió 3 Mcal de EM kg^{-1} (teniendo 5 - 7% de forraje). Los ionóforos han demostrado que mantienen la ganancia de peso, pero reducen el consumo de alimento, lo cual mejora la conversión

alimenticia. Otros antibióticos, como la virginiamicina, han afectado la fermentación ruminal en forma similar a la de los ionóforos (Ives *et al.* 2002).

Existen interacciones entre el nivel de forraje y grano y la respuesta a los ionóforos, por lo que los cambios en la eficiencia de la EM pueden ser variables. En dietas con una alta proporción de forraje el consumo no siempre se reduce con monensina (García *et al.* 2000), sin embargo, en dietas altas en granos, se disminuye (Lana *et al.* 1997).

El balance estequiométrico de los ácidos grasos volátiles (AGV), CO₂ y CH₄, indica que el acetato y el butirato promueven la producción de CH₄, mientras que la formación de propionato conserva hidrógeno y por consiguiente reduce la producción de metano y por ende de EM, por lo que se esperaría mayores pérdidas en sistemas de alimentación de bovinos alimentados con forrajes. Este es uno de los factores que se consideran para explicar la mayor eficiencia de utilización de la EM en dietas con mayor proporción de granos (Anónimo 1976). Las ecuaciones de la fermentación muestran esta relación (Riquelme 1987):



Un análisis sencillo de número de carbonos, muestra como por cada mol de glucosa fermentado en rumen se pierden cuatro carbonos de energía utilizable para el animal en forma de CO₂ al formar el acetato y dos carbonos al formar butirato, que también contribuyen a la formación de metano, mientras que la formación de propionato conserva los carbonos y captura hidrógeno. Además si se considera el principio termodinámico de la producción de calor como la diferencia entre el calor de combustión de sustratos y el de los productos (Lehninger 1980), por cada mol de glucosa (C₆H₁₂O₆) de 672 kcal/mol, se producirían dos de acetato (209 kcal/mol) lo que representaría un total de 418 kcal con una eficiencia del 62%. Para el propionato (367 kcal/mol) se tendrían 734 kcal con una eficiencia mayor al 100%, mientras que con el butirato (524 kcal/mol) la eficiencia sería de 77.9%.

La dieta puede cambiar la población microbiana en el rumen y consecuentemente influir la producción de ácidos grasos volátiles. En general las dietas altas en fibra producen AGV con alta proporción de ácido acético, mientras que las dietas de concentrado generan más ácido propiónico. Estos cambios pueden afectar la composición de la leche. Por ejemplo, la proporción molar de ácido acético y butírico están positivamente relacionados con la concentración de grasa en la leche. Además, un incremento en la proporción de ácido propiónico ha producido una mejor partición de la energía, la cual se ha reflejado en tejido corporal y menos en la leche (Agnew & Yan 2000).

Dado que el patrón de fermentación está en función de los carbohidratos estructurales, los no estructurales, así como su forma física, cantidad y tasa de digestión, los cambios en los carbohidratos dietarios pueden modificar la producción y patrón de ácidos grasos volátiles y la eficiencia de utilización de la EM. Si bien el uso de carbohidratos fácilmente fermentables se considera para promover una fermentación hacia propionato no deben de ignorarse los efectos negativos en la acidez ruminal que disminuyen la ED obtenida de la celulosa y las reducciones en consumo voluntario. Es importante mencionar que dietas con altos niveles de melaza, promueven una concentración elevada de acetato y de butirato, lo cual lleva consigo una mayor pérdida en gases de la fermentación (Aranda 2000). La tasa de degradación del almidón impacta la fermentación, tanto del almidón como de la fibra dietaria, por lo que debe de considerarse ese factor y sus posibles implicaciones en los cambios en el patrón de fermentación (Ortega & Mendoza 2003).

La energía en orina (EO), corresponde a la energía de compuestos no utilizados por el animal, productos de procesos metabólicos y de origen endógeno (Anónimo 1981). En términos generales, donde hay deficiencias de nitrógeno y de aminoácidos esenciales que llegan al duodeno, se incrementa la concentración de urea sanguínea y por lo tanto las pérdidas de EO. Esto implica que animales alimentados en sistemas de traspatio o en pastos deficientes, además de estar aprovechando una menor cantidad de ED, están excretando mayor cantidad de N en-

dógeno.

Si se consideran animales con excesivos consumos de proteína degradable en rumen o nitrógeno no proteínico, el exceso de N se tiene que excretar, lo cual representa un mol de ATP por cada mol de urea, y si se considera el valor de energía bruta de ese N urinario, las pérdidas de EO son considerables. Riquelme (1987) estimó que la síntesis de urea tiene una producción de calor de 3.4 kcal/g N convertido en urea.

En animales alimentados adecuadamente, en términos de balance energía proteína en el rumen, las pérdidas de nitrógeno sólo se reducen al proveer una relación apropiada de lisina metionina a nivel duodenal. Esto se ha demostrado en ganado lechero (Lara *et al.* 2001).

El uso de agentes anabólicos que reducen el catabolismo de nitrógeno o que incrementan la deposición de la proteína corporal, ayudan a reducir las pérdidas de nitrógeno. Distintos agentes anabólicos se han evaluado en bovinos (Hayden *et al.* 1992; Guiroy *et al.* 2002), donde se ha observado que se incrementa la síntesis de proteína y se reduce la de grasa.

Un balance adecuado de proteína, el uso de dietas con menor concentración de acetato y butirato, pueden incrementar el consumo de EM. Una vez que se establezca una alimentación balanceada, el uso de aditivos como ionóforos, o agentes anabólicos, se pueden implementar para mejorar la productividad en los distintos sistemas de producción bovina.

Otro aspecto a considerar, es el rápido avance del merito genético sobre la eficiencia energética llevado cabo en las Islas Británicas, en donde el incremento genético es de aproximadamente de 4.5 kg/grasa al año y de 62 kg/de leche al año. En estos estudios, la eficiencia energética (la energía de la leche producida como una proporción de la EM ingerida) resultó alta cuando el merito genético fue igualmente alto, en vacas durante la lactación. La magnitud de este incremento en la eficiencia fue más alta en vacas con lactaciones múltiples que en vacas en la primera lactación (Agnew & Yan 2000).

Energía neta

La energía neta es la porción de la energía del alimento que es retenida en el cuerpo del animal o en alguno de sus productos útiles (carne, leche). Entonces para ovinos representa la energía en los tejidos, en la leche, en tejido o pelo. Esta energía se obtiene al restar las perdidas de calor del metabolismo de nutrientes de la EM.

$$EN = EM - \text{calor producido}$$

Generalmente el calor producido (CP) se mide por calorimetría directa o indirecta. Lofgreen & Garret (1968) determinaron una relación entre el calor producido y el consumo de EM expresado en (kcal/día)(w^{0,75}):

$$\text{Log CP} = 1.8851 + 0.00166 \text{ EM}$$

Esta relación indica que a mayor consumo de EM, mayor será la pérdida de calor asociada con el metabolismo. Este es un aspecto importante porque los animales tienen que mantener una homeostasis para su sobrevivencia en condiciones ambientales fuera de la zona termoneutral (Mendoza *et al.* 2003b).

El contenido de EM y EN para la lactación (ENL) de algunos forrajes ha variado de 3.07 - 10.22 MJ/kg MS y de 1.08-6.24 MJ/kg MS, respectivamente (Anónimo 2001). Además, los valores calculados de EM y ENL del maíz, trigo, cebada y avena (determinación por producción de gas *in vitro*) fue de 13.08, 12.99, 12.45 y 12.10 MJ/kg MS y 8.30, 8.25, 7.84 y 7.55 MJ/kg MS, respectivamente (Abas *et al.* 2005). Los valores de EM y ENL de estos alimentos es de 9.23-12.99 y 5.43-8.20 MJ/kg MS para ganado de carne y de 9.74-12.67 y 5.76-7.89 MJ/kg MS para vacas lecheras (Abas *et al.* 2005).

El gasto energético de mantenimiento (ENm) es otro aspecto importante en la producción de calor. En el caso de los bovinos, la actividad como el pastoreo representa un gasto energético que llega a ser significativo. En estos casos se incrementa la ENm y por lo tanto, la mayor cantidad del alimento se destina a mantenimiento y una menor porción a ganancia de peso (ENg) o producción de

leche (ENL), lo cual debe ser considerado en sistemas de explotación extensivos. Aquellos sistemas de trashumancia estarán perdiendo mayor cantidad de energía, que aquellos explotados en condiciones de pasturas manejadas o en confinamiento (Mendoza & Ricalde 1996).

El alto gasto energético durante el pastoreo es el resultado de los grandes esfuerzos físicos por seleccionar y conseguir el alimento, sobre todo bajo pastoreo extensivo donde la disponibilidad del forraje es limitante. En vacas lecheras se ha calculado que el gasto energético es de 2.0 a 28 kJ/kg de peso vivo por km recorrido, para movimientos horizontales y verticales respectivamente (Agnew & Yan 2000).

Desde un punto de vista nutricional, se ha sugerido que se puede modificar la dieta de acuerdo al tipo de estrés ambiental al que estén sometidos los rumiantes. El uso de grasas se ha propuesto en climas cálidos, dado que tienen el menor efecto dinámico específico, o bien el incremento en las concentraciones de proteína donde hay estrés por frío (Riquelme 1987).

Los bovinos en sistemas de pastoreo están en cambios constantes de radiación, convección y conducción, que modifican su intercambio calórico con el ambiente (Mendoza et al. 2003b). Estos cambios marcan una enorme diferencia con la alimentación en confinamiento y deben de entenderse y comprenderse, para considerarlos y poder tomar decisiones sobre el manejo nutricional en pastoreo y uso de sombras para reducir la radiación recibida por los animales (Mendoza & Ricalde 1996).

Existen varios factores relacionados que afectan la producción del animal en pastoreo, entre los que se encuentran aquellos inherentes al crecimiento animal y su potencial genético, el ambiente en términos de intercambio calórico, la disponibilidad de forrajes, el manejo de las praderas, disponibilidad de sombra, y las prácticas de complementación de alimentos (Johnson 1985).

Los animales en pastoreo tienen que establecer un balance entre el calor producido por sus procesos metabólicos y digestivos, con la carga calórica y sus mecanismos de disipación de calor (Riquelme 1987; Mendoza et al. 2003b). El proporcionar sombreaderos en condiciones de estrés calórico puede

mejorar el consumo de suplemento ofrecido *ad libitum* y la producción de leche de vacas Holstein con acceso a praderas de trópico húmedo (De Dios et al. 1988).

La zona termoneutral se considera el intervalo de confort o de indiferencia térmica (Anónimo 1981). Debajo de la temperatura crítica inferior empieza la zona fría, donde los bovinos tienen que usar algunos mecanismos para conservar el calor metabólico, los cuales consisten en cambios de postura, incrementos en circulación sanguínea, incremento de hormonas tiroideas, aumento de consumo, entre otros. En contraste, la temperatura es superior a la zona termoneutral, se encuentran en la zona caliente o de estrés calórico. Donde el animal tiene que facilitar la pérdida de calor por vasodilatación, incrementando la respiración, reduciendo el consumo, entre otros. Como se puede inferir, saliendo de la zona termoneutral se tiene que gastar energía para mantener el equilibrio, lo cual reduce la EN para la producción. Las adaptaciones de los bovinos *Bos indicus* muestran su capacidad de resistir estrés calórico, mientras que las de *Bos taurus* para sobrevivir en condiciones frías.

Los mecanismos que tienen los animales para perder o ganar calor (Mendoza et al. 1993): calor metabólico (CM), evaporación, convección (CV), conducción (CD) y radiación debe ser considerados. Las pérdidas respiratorias están asociadas a la presión de saturación del vapor del aire inspirado y expirado (a temperatura corporal), y por lo tanto son afectadas por la humedad relativa ambiental y temperatura ambiental (TA). Las pérdidas de energía por CV están en función de la forma (cilíndrica) del animal, TA y velocidad del viento. Las pérdidas de calor por CD hacia el piso están afectadas por el tiempo de pastoreo y de descanso y están en función a la TA y HR. La carga calórica de radiación (que posteriormente tiene que eliminar por alguno de los otros mecanismos) está determinada por el tiempo que el bovino este expuesto a la luz solar, con una constante solar de 1,200 kcal/h por m² por animal/día. El tiempo de pastoreo, la presencia de sombras y la nubosidad son factores que determinan la cantidad de energía que recibe el animal por radiación (Mendoza et al. 2003b).

Algunas estimaciones teóricas en pastoreo indicaron que la principal fuente de ganancia de calor fue la radiación (60-70 %), seguida por el calor metabólico (39-29 %) con una mínima ganancia por excreción de urea y desaminación (1 %), aún con exceso de proteína en la ración (Mendoza *et al.* 1993). La principal forma de disparar el calor es la evaporación (60 %), el cual es mayor por la piel que por respiración. El calor re-irradiado representaba una disipación del 30 % mientras que por CV se disipa el 2 % y 5 % por CD (Mendoza *et al.* 2003b).

Otra alternativa que puede mejorar la eficiencia de utilización de la EM es la incorporación de precursores de propionato (propilen glicol y propionato de calcio) asociado con la disminución de carbohidratos dietarios, lo cual reduciría las pérdidas asociadas con el calor de la fermentación. Los efectos metabólicos de estos compuestos han mostrado que el suministro de propilen glicol redujo la concentración sanguínea de ácidos grasos libres no esterificados y β hidroxibutirato e incrementó la glucosa sanguínea (Grummer *et al.* 1994). Es posible que en el futuro se tenga que considerar el metabolismo de estos dentro de la partición de la energía.

CONCLUSIONES

El conocimiento del metabolismo de la energía y el fraccionamiento de la misma en los bovinos ha sido un aspecto fundamental en el desarrollo de la producción de carne y leche bovina. Los sistemas de alimentación intensiva se basan en los valores de energía determinados en ensayos metabólicos y en estudios de sacrificio comparativo que determinaron los valores de energía neta de los alimentos.

Desde el punto de vista práctico, las pérdidas de energía en heces se pueden reducir al aumentar el consumo de energía digestible y al mejorar las prácticas de manejo nutricional. La más sencilla es formular equilibradamente los nutrientes en función de los requerimientos del animal (energía, proteína degradable en rumen, materia orgánica fermentada,

y suministro de minerales traza). La otra opción la constituyen los aditivos, que en futuro podrán tener un gran impacto, tales como las enzimas exógenas desarrolladas con procesos biotecnológicos, que permitirán aumentar la capacidad de digestión de la pared celular, almidón y la disponibilidad de otros nutrientes como el fósforo ligado al ácido fítico.

La reducción de pérdidas en gases en forma de metano se han disminuido actualmente con ionóforos, lo cual deberá ser tomado en cuenta seriamente debido a la importancia que tiene la contribución de metano al proceso de calentamiento global y a la población mundial de bovinos. Como beneficio para el animal se tendría un mayor consumo de energía metabolizable y mayor producción de carne o leche. También, las pérdidas de energía se pueden reducir en forma de nitrógeno excretado en orina, y disminuir la contaminación ambiental, al proveer un suministro adecuado de aminoácidos metabolizables, particularmente de lisina y metionina protegida de la degradación ruminal, tal y como se ha demostrado en ganado lechero.

El manejo nutricional requiere del conocimiento básico de los procesos del metabolismo de energía dentro de los distintos sistemas de producción bovina. Existen alternativas de manejo alimenticio y de uso de aditivos que permiten incrementar el consumo de ED y EM. Los factores ambientales o de actividad que modifican el requerimiento de EN de mantenimiento, son determinantes en la productividad de los bovinos. Es importante continuar con el desarrollo de líneas de investigación que mejoren la eficiencia de utilización de la energía y respondan a las necesidades de producción de alimentos de origen bovino (carne y leche). También es necesario caracterizar las fuentes biológicas de variación en la eficiencia energética del ganado. Estas serán útiles para planificar eficazmente las estrategias de cría, para seleccionar animales que consuman considerablemente menos alimento y obtener una tasa crecimiento y peso corporal similar al de los animales que consumen más alimento.

LITERATURA CITADA

Abas U, Özpınar H, Kutay C, Kahraman R, Eseceli H (2005) Determination of the metabolizable energy

- (ME) and net energy lactation (NEL) contents of some feeds in the Marmara region by *in vitro* gas technique. Turkey Journal of Veterinary and Animal Science 29:751-757.
- Agnew RE, Yan T (2000) Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. Livestock Production Science 66:197-215.
- Allen MS, Mertens DR (1988) Evaluation constraints on fiber digestion by rumen microbes. Journal of Nutrition 118:261-70.
- Ángeles SC, Mendoza MGD, Cobos MA, Crosby MM, Castrejón F (1998) Comparison of two commercial yeast cultures (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal fermentation and digestion in sheep fed a corn stover diet. Small Ruminant Research 31:45-50.
- Anónimo (1976) National Research Council Nutrient requirements of beef cattle. Nutrient requirements of domestic animals Series. National Academy of Sciences. Washington, DC.
- Anónimo (1981) National Research Council Nutritional energetics of domestic animals. Natl. Acad. Press. Washington, DC.
- Anónimo (1996) National Research Council Nutrient Requirements of beef cattle. Natl. Acad. Press. Washington, DC.
- Anónimo (2000) National Research Council Nutrient Requirements of beef cattle. Natl. Acad. Press. Washington, DC.
- Anónimo (2001) Nutrient Requirements of Dairy cattle. National Research Council. National Academy Press. Washington, DC.
- Aranda IEM (2000) Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. DF.
- Aranda IEM, Mendoza GD, García BC, Castrejón F (2001) Growth of heifers grazing stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. Livestock Production Science 71:201-206.
- Aranda IEM, Mendoza GD, Barcena R, Ramos J, Castrejón F (2003) Influence of sugar cane intake on digestibility and ruminal fermentation in crossbreed steers fed stargrass. Journal of Applied Animal Research 23:153-160.
- Arcos GJL, Castrejón F, Mendoza GD, Pérez EPG (2000) Effect of two commercial yeast cultures with *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation and digestion in sheep fed sugar cane tops. Livestock Production Science 63:153-157.
- Basarab JA, Price MA, Aalhus JL, Okine EK, Snelling WM, Lyle KL (2003) Residual feed intake and body composition in young growing cattle. Canadian Journal of Animal Science 83:189-204.
- Beauchemin KA, Rode LM, Swalt VJH (1995) Fibrolytic enzymes increase fiber digestibility and growth rate of steers fed dry forages. Canadian Journal of Animal Science 75:641-644.
- Beauchemin KA, Rode LM, Karren D (1999) Use of feed enzymes in feedlot finishing diets. Canadian Journal of Animal Science 79:243-246.
- Beauchemin KA, Jones SDM, Rode LM, Sewalt VJH (1997) Effects of fibrolytic enzyme in corn or barley diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. Canadian Journal of Animal Science 77:645-653.
- Beauchemin KA, Colombatto D, Morgavi DP, Yang WZ (2003) Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. Journal of Anim. Science 81(E. Suppl. 2):E37-E47.
- Cabrera EI, Mendoza GD, Aranda IEM, García BC, Barcena GR, Ramos JJ (2000) *Saccharomyces cerevisiae* and nitrogenous supplementation in growing steers grazing tropical pastures. Animal Feed Science and Technology 83: 49-55.
- Cobos MA, Guerra ME, López GS, Báez PJ, González MSS, Mendoza MGD (2005) Evaluación *in vitro* de dos amortiguadores y un ionóforo sobre variables fermentativas y microbiológicas. Agrociencia 39: 1-9.

- Channon AF, Rowe JB, Herd RM (2004) Genetic variation in starch digestion in feedlot cattle and its association with residual feed intake. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 469-474.
- Corona L, Mendoza GD, Castrejón F, Crosby MM, Cobos MA (1999) Evaluation of two yeast cultures (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal fermentation and digestion in sheep fed a corn stover diet. *Small Ruminant Research* 31:209-214.
- Crosby MM, Mendoza GD, Barcena GR, González MS, Aranda IEM (2004) Influence of *Saccharomyces cerevisiae* dose on ruminal fermentation and digestion in sheep fed a corn stover diet. *Journal of Applied Animal Research* 25:9-12.
- De Boer JA, Yazman JA, Raun NS (1994) *Animal agriculture in developing countries: Technology dimensions*. Ed. Seckler K. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arkansas. Little Rock. 52 pp.
- De Dios VOO, López AR, Castellanos C, Santos JL (1988) El ganado Holstein en el trópico húmedo Mexicano. IV. Efecto de la carga calórica en la termoregulación y comportamiento cotidiano de vacas en leche, suplementadas con cascarilla de grano cacao-pollinaza-melaza. *Universidad y Ciencia* 5:13-22.
- Erickson GE, Milton CT, Fanning KC, Cooper RJ, Swingle RS, Parrott JC, Vogel G, Klopfenstein TJ (2003) Interaction between bunk management and monensin concentration on finishing performance, feeding behaviour, and ruminal metabolism during an acidosis challenge with feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 81: 2869-2879.
- Feng P, Hunt CW, Julien WE, Dickinson E, Moen T (1992) Effect of enzyme additives on *in situ* and *in vitro* degradation of mature cool-season grass forage. *Journal of Animal Science* 70 (Suppl. 1):309.
- García CM, Mendoza MGD, González MS, Cobos PM, Ortega CME, Ramírez RL (2000) Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) and monensin on ruminal fermentation and digestion in sheep. *Animal Feed Science and Technology* 83:165-170.
- Gómez-Vázquez A, Pérez PJ, Mendoza MGD, Aranda IEM, Hernández A (2003) Fibrolytic enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *Livestock Production Science* 82:249-254.
- Goodrich RD, Garrett JE, Gast DR, Kirick MA, Larson DA, Meiske JC (1984) Influence of monensin on the performance of cattle. *Journal of Animal Science* 58:1484-1498.
- Grummer RR, Winkler JCM, Bertics SJ, Studer VA (1994) Effect of propylene glycol dosage during feed restriction on metabolites in blood of prepartum Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 77:3618-3623.
- Guiroy P, Tedeschi LO, Fox DG, Hutcheson JP (2002) The effects of implant strategy on finished body weight of beef cattle. *Journal of Animal Science* 80: 1791-1800.
- Hayden JM, Bergen WG, Merkel RA (1992) Skeletal muscle protein metabolism and serum growth hormone, insulin, and cortisol concentrations in growing steers implanted with estradiol-17 beta, trenbolone acetate, or estradiol-17 beta plus trenbolone acetate. *Journal of Animal Science* 70: 2109-2119.
- Herrera HJG, Mendoza MG, Hernández GA (1998) *La ganadería familiar en México*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes. 80 pp.
- Ingle MR, Erickson RJ (1978) Bacterial alpha-amylases. *Advances in Applied Microbiology* 24:257-278.
- Ives E, Titgemeyer EC, Nagaraja TG, Del Barrio A, Bindel DJ, Hollis LC (2002) Effects of virginiamycin and monensin plus tylosin on ruminal protein metabolism in steers fed corn-based finishing diets with or without wet corn gluten feed. *Journal of Animal Science* 80: 3005-3015.
- Johnson HD (1985) Physiological responses and productivity of cattle. In: *Stress Physiology in livestock*. Vol. II Ungulates. CRC Press, Inc. Boca Raton. 454pp.
- Krause M, Beauchemin KA, Rode LM, Farr BI, Nørgaard P (1998) Fibrolytic enzyme treatment of barley grain and source of forage in high-grain diets fed to growing cattle. *Journal of Animal Science* 96:1010-1015.

- Lana RP, Fox DG, Russell JB, Terry TC (1997) Influence of monensin on Holstein steers fed high-concentrate diets containing soybean meal or urea. *Journal of Animal Science* 74:2557-2759.
- Lara A, Mendoza GD, Barcena R, García CM, Landois L (2001) Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminally protected methionine. *Journal of Animal Science* 79 (Suppl. 1): 282 (Abstr).
- Lehninger AL (1980) *Bioquímica*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1117 pp.
- Lofgreen GP, Garret WN (1968) A system for expressing net energy requirements y feed values for growing y finishing beef cattle. *Journal of Animal Science* 27:793-806.
- McAllister TA, Oosting SJ, Popp JD, Mir Z, Yanke LJ, Hristov AN, Treacher RJ, Cheng KJ (1999) Effect of exogenous enzymes on digestibility of barley silage and growth performance of feedlot cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 79:353-360.
- Mendoza MGD, Ricalde VR (1996) Suplementación de bovinos en crecimiento en pastoreo. *Leche*. Libro de texto, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. D.F. 97 pp.
- Mendoza MGD, Britton RA, Stock RA (1993) Influence of ruminal protozoa on site and extent of starch digestion and ruminal fermentation. *Journal of Animal Science* 71:1572-1578.
- Mendoza MGD, Britton RA, Stock RA (1995a) Effect of protozoa and urea level on *in vitro* starch disappearance and amylolytic activity of ruminal microorganisms. *Animal Feed Science and Technology* 54:315-325.
- Mendoza MGD, Ricalde R, Esparza H, Velázquez TL (1995b) Nota técnica: Efecto de dos cultivos de *Saccharomyces cerevisiae* en la degradación ruminal de la fibra neutro detergente de paja de trigo. *Investigación Agraria, Serie Producción Animal* 10:33-38.
- Mendoza MG, Ricalde VR, Plata PF, León VH, Macías GPF (2003a) Utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes. Libro de texto, Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez. 205 pp.
- Mendoza MG, Pinos JM, Ricalde R, Aranda IEM, Rojo R (2003b) Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *Interciencia* 28: 202-207.
- Mora G, Barcena R, Mendoza G, González S, Herrera J (2001) Exogenous amylases from *Bacillus licheniformis* and *Aspergillus niger* improve starch digestion but not performance of sheep. *Journal of Animal Science*. 79 (Suppl. 1): 281.
- Nkrumah JD, Okine EK, Mathison GW, Schmid K, Li C, Basarab JA, Price MA, Wang Z, Moore SS (2006) Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84:145-153.
- Ortega CME, Mendoza MGD (2003) Starch digestion and glucose metabolism in the ruminant: A review. *Interciencia*. 28:380-386.
- Pinos JM, González S, Mendoza GD, Barcena R, Cobos M (2001) Efecto de enzimas fibrolíticas glucosiladas en la digestibilidad *in vitro* de MS y MO de alfalfa (*Medicago sativa*) y Ballico (*Lolium perenne*). *Revista Científica Facultad de Ciencias Veterinarias Zulia* 6:505-509.
- Plata PFX, Mendoza GD, Barcena GR, González MS (1994) Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on neutral detergent fiber digestion in steers fed oat straw diets. *Animal Feed Science and Technology* 49:203-210.
- Plata PFX, Ricalde VR, Melgoza LM, Mendoza MGD, Franco GFJ (2004) Efecto de la dosis de α -amilasa (*Bacillus licheniformis*), temperatura de solución y molido del grano de sorgo en la aglutinación del almidón y digestibilidad ruminal *in vitro*. *Interciencia* 29: 686-691.
- Ramos JA, Mendoza G, Aranda IEM, Garcia C, Barcena R, Alanis J (1998) Escape protein supplementation of growing steers grazing stargrass. *Animal Feed Science and Technology* 70: 249-256.

- Richardson EC, Herd RM (2004) Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44:431-440.
- Riquelme VE (1987) Suplementación energética para bovinos en pastoreo. En: Memoria del seminario internacional, Suplementación para bovinos en pastoreo. González MSS (ed) Centro de Ganadería Colegio de Postgraduados. Chapingo. 65 pp.
- Roa ML, Barcena GR, González MS, Mendoza G, Ortega ME, García BC (1997) Effect of fiber source and a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*¹⁰²⁶) on digestion and the environment in the rumen of cattle. *Animal Feed Science and Technology* 64:327-336.
- Rojo RR, Mendoza MG, Crosby MM (2001) Uso de la amilasa termoestable de *Bacillus licheniformis* en la digestibilidad *in vitro* del almidón de sorgo y maíz. *Agrociencia* 35:423-427.
- Rojo R, Mendoza GD, González S, Landois L, Barcena R, Crosby MM (2005) Effects of exogenous amylases from *Bacillus licheniformis* and *Aspergillus niger* on ruminal starch digestion and lamb performance. *Animal Feed Science and Technology* 123:655-665.
- Russell RW, Gahr SA (2000) Glucose availability and associated metabolism. Pages in *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. D'Mello JPF (ed) CAB Intl. Publ., Wallingford: 121-147.
- Tedeschi LO, Fox DG, Tylutki TP (2003). Potential environmental benefits of ionophores in ruminant diets. *Journal of Environmental Quality* 32: 1591-1602.
- Tirado EG, Mejia HI, Cruz CR, Mendoza GD, Tovar LI, Fajardo PJ (2001) Effects of exogenous enzymes on fiber degradation of corn stalks. *Journal of Animal Science* 79 (Supl. 1): 283.
- Val-Arreola D, Kebreab E, Mills J, France J (2005) Analysis of feeding strategies for small-scale dairy systems in central Mexico using linear programming *Journal of Animal and Feed Science* 14: 607-624.
- Webster AJF (1978) Prediction of the energy requirements for growth in beef cattle. *World Review of Nutrition and Diet* 30:189-226.
- Witten GH (2003) Modelling the control of energy partitioning during sub-maintenance feeding in cattle *Systems Analysis Modelling Simulation* 43: 1065-1084.

