

METABOLISMO ENERGETICO DE BOVINOS

Por: José Oscar Zapata A.*

INTRODUCCION

El conocimiento de los procesos energéticos en los rumiantes y los cambios ocurridos en el organismo para el aprovechamiento de las sustancias, es punto indispensable para poder ofrecer una nutrición adecuada. El interés fundamental del nutricionista concierne especialmente a la predicción de la demanda energética por el organismo animal y tratar de fijar la capacidad ofrecida por los diferentes alimentos para las funciones metabólicas, aunado a otra serie de elementos indispensables que como vitaminas, aminoácidos y minerales equilibran la dieta para cumplir las funciones productivas.

Las dietas deben prepararse de acuerdo a los requerimientos nutritivos para obtener una eficiente y económica producción y la energía en la ración es uno de los factores a considerar, dependiendo su empleo en forma amplia de la

* M.V.Z., M.S., Ph.D. Ganado de Leche ICA. CNI-Palmira.

fermentación que ocurre en el rumen y otras pérdidas energéticas que el animal sufre durante el proceso digestivo. Los valores relativos de los alimentos y la relación con los requerimientos de acuerdo al estado productivo, deben ser conocidos antes de que una ración pueda acertadamente ser formulada y la evaluación deberá proveer valores que estén verdaderamente relacionados con el desarrollo productivo.

Existen según Prestón y Willis (1975) tres generalidades que tienden a dominar el criterio actual sobre nutrición de rumiantes.

1. La mayor parte de la materia seca digestible desaparece en el rumen, dejando sólo de un 15-30% para ser hidrolizado en el abomaso e intestino.
2. La fermentación ruminal libera casi todos los componentes de la dieta reproduciendo energía a partir de los ácidos grasos volátiles (A.G.V.) y la digestión después del rumen sólo es importante respecto a los aminoácidos, al protoplasma bacterial a fragmentos no atacados de la proteína.

3. Todas las fuentes de nitrógeno dietético son hidrolizadas a distinto grado por enzimas bacteriales del rumen y posteriormente sintetizadas como proteína microbial antes de ser hidrolizada a aminoácidos en el intestino.

FRACCIONAMIENTO DE LA ENERGIA

De la energía total consumida por el animal en la ración, del 20 al 60% es perdida como energía fecal, dependiendo de la clase de alimento y de la especie animal y corresponde a cierta cantidad de alimento digerido más residuos celulares del tracto digestivo que en conjunto forma lo denominado energía metabólica fecal (E.M.F) (Moe et.al. 1966).

Observando la Figura 1., se aprecia que la energía total recibida, un porcentaje que puede fluctuar entre 20-60% es excretado en las heces, quedando la energía aparentemente digestible (E.D). Sin embargo, una parte de ésta que puede variar de 3 a 5 % es excretada en la orina y junto con las células de descamación de tipo endógeno constituye la energía endógena urinaria (E.E.U); constituyendo otra porción de energía perdida por el organismo.

Otra parte energética que no es disponible para funciones orgánicas dentro del proceso metabólico, es la cantidad perdida en los gases de fermentación producidos por el rumen y que representa del 5-12%. El solo metano por ejemplo contiene 13.3 KCal/g y forma el 40% de los gases totales formados durante los procesos; esta pérdida de gases está influenciada por la dieta, plano de nutrición, composición y edad del animal.

Sustrayendo estas cantidades perdidas de energía digestible la energía metabolizable (E.M) de la cual de un 10 a 40% está constituida por el incremento calórico (I.C) ó sea aquella cantidad de calor producido en las reacciones alimenticias y constituye la energía necesaria para metabolizar las diferentes sustancias. Knox and Handley (1973) empleando métodos comparativos de sacrificio y midiendo la energía producida, determinaron que $EM = GE - (EF + EU + EPG)$ donde EM = Energía metabolizable, G.E. = Energía total, EF = Energía fecal, EU = Energía Urinaria, EPG = Energía Perdida en gases de fermentación.

El excedente energético es aquel explicado para funciones de mantenimiento y producción y según Lofgreen y Sarret (1868) se denomina energía neta (E.N) y expresa el valor real de un alimento para fines productivos y de mantenimiento.

La energía para mantenimiento es aquella requerida por el animal para mantener su peso constante, siendo este el único criterio para medir los requerimientos tomando un animal en ayunas, reposo y actividad fisiológica. Así los requerimientos de un animal en pastoreo son más altos, a los calculados para un animal en confinamiento y normalmente a los obtenidos en tablas que se le agregan un 25%, sabiendo que los datos para animales en lactancia se deben expresar teniendo en cuenta leche producida y contenido de grasa (Moe et.al. 1965).

La energía para mantenimiento puede dividirse en 2 grupos:

- a. Energía para funciones del servicio que comprende de 35-50% y es empleada para el funcionamiento orgánico en la integración de las diferentes funciones como trabajo de riñones, corazón, músculos, etc. (Baldwin et.al. 1980).

- b. La energía para las funciones de mantenimiento celular que incluye resistensis protéica, resistensis de lípidos, transporte iónico, etc., y representa de 40-50% de la energía basal (Cuadro 1).

CUADRO 1. Energía gastada en algunas funciones de mantenimiento.

F U N C I O N	ENERGIA BASAL GASTADA
	%
Función Servicio	
Trabajo riñones	6 - 7
Trabajo corazón	9 - 11
Trabajo respiratorio	6 - 7
Trabajo nervioso	10 - 15
Trabajo hepático	5 - 10
TOTAL	36 - 50
Mantenimiento celular	
Resistensis protéica	9 - 12
Resistensis lípidos	2 - 4
Transporte iónico	30 - 40
TOTAL	40 - 56

VALUACION ENERGETICA DE LAS SUSTANCIAS

La energía como norma general, es uno de los más importantes elementos en las raciones para el ganado lechero y para evaluarla se han usado diferentes medios, variando la energía total del alimento obtenida por combustión y que determina el calor total liberado en la ración de combustión generalmente expresado en Kcal/g. de alimento, a valores de energía neta del alimento.

Para la estimación de los valores energéticos y la conversión a energía neta debe realizarse por pasos (Van Soest, 1982).

1. Estimar los valores de nutrientes digestibles totales (NDT) ó energía digestible (E.D).
2. Estimar los valores de energía metabolizable (E.M).
3. Estimar los valores de energía neta (E.N) a partir de uno de los valores anteriores.

Fórmulas para expresar valores energéticos:

Los estándares más usados y obtenidos a través de ensayos de alimentación, digestión y balance son: Nutrientes digestibles totales (NDT), Energía digestible (E.D), Energía metabolizable (E.M), Energía neta (E.N), etc.

El sistema de NDT se ha empleado como sistema de evaluación desde principio de siglo, pero su uso no es enteramente confiable para rumiantes en donde se emplea una amplia variedad de alimentos. Además, tanto este sistema como el de la E.D. ó E.M. sobre evalúan los forrajes para fines productivos en relación al concentrado (Lofgreen, G.P, 1968).

De otro lado los valores de NDT, no dan la cantidad de energía disponible para los procesos fisiológicos debido a que no considera las pérdidas de energía ocurridas por los gases producidos y el incremento calórico del alimento. Normalmente los elementos nutritivos de los forrajes tienen un valor que fluctúa de 45 a 65%, de variedad y clase de forraje, clima, manejo, etc., y el contenido de los granos fluctúa entre 65 a 85%.

Moe et.al. (1972), identifican la relación entre calidad de la dieta y eficiencia en la producción de leche, expresan do la energía como energía neta para lactancia y los requerimientos

para mantenimiento estimados por regresión analizando 32 dietas en 350 trabajos con animales lactando y usando la siguiente ecuación:

$$122.1 \text{ y } 113.3 \text{ Kcal de E.M. } \pm 78.9 - 67.7 \text{ Kcal de E.N/kg W}^{.75}$$

Concluyen los autores que la energía requerida para mantenimiento de una vaca en lactancia podría ser expresado por:

$$73 \text{ Kcal de E.N/kg W}^{.75}$$

Con esta asunción postulan:

$$\text{E.N. Mcal/kg M.S} = -.19 + (.703 \pm .020) \text{ E.M (Mcal/kg M.S)}$$

$$\text{E.N. Mcal/kg M.S} = -.36 + (.677 \pm .022) \text{ E.D. (Mcal/kg M.S)}$$

$$\text{E.N. Mcal/kg M.S} = -.12 + (.0266 \pm .001) \text{ NDT (Mcal/kg M.S)}$$

De otro lado, según (Blaxter 1961) tanto los NDT con EM y ED pueden ser obtenidos mediante cálculos sencillos así:

$$\text{NDT} = \frac{\text{E.D en Mcal/kg M.S.}}{.4409}$$

$$\text{E.D.} = \frac{\text{N.D.T. \%} \times 0.04409}{100}$$

$$\text{E.M.} = \text{E.D. Mcal/kg} \times .82$$

$$\text{NDT} = \frac{\text{E.M. Mcal/kg} \times 100}{3.6155}$$

Considerando a Lofgreen et.al. (1968) los requerimientos de energía neta para producción de leche pueden expresarse mediante la ecuación siguiente:

$$\text{E.N. Leche/kg M.S.} = .677 \text{ E.D. Mcal/kg M.S.} .359$$

Los nutrientes totales pueden calcularse también a partir de la composición nutritiva ó a análisis proximal del alimento (Gainesville, 1974), aplicando la ecuación siguiente:

$$\text{NDT} = 1.15 \text{ PC} + 1.75 \text{ EE} + .085 \text{ ENN} + .25 \text{ ENN} - 3.54$$

y a partir de este cálculo podemos emplear los valores correspondientes de 1 kg de NDT equivalente a 4.4 Mcal de ED ó a 3.61 Mcal de EM para fines de aplicación práctica.

Factores que afectan la energía:

La energía perdida en las heces representa una alta cantidad de la energía total consumida y ésta pérdida es función directa del consumo de carbohidratos estructurales que como

lignina, celulosa, hemicelulosa, afectan la digestión del alimento y estos compuestos solos o mezclados con la fibra cruda han sido usados como índices adecuados de la digestión (Walker y Hepburn, 1955).

Las pérdidas fecales son menores a nivel de mantenimiento y aumentan al aumentar el alimento por encima de este nivel (Flatt et.al. 1967) y la pérdida es mayor al suministrar alimento de baja disponibilidad, que de alta digestibilidad (Blaxter, 1961). Sin embargo, la pérdida energética por gases y orina disminuye. De otro lado, el consumo total afecta la eficiencia en la utilización de la EM y los cálculos en requerimientos se deben ajustar tanto por los cambios que suceden por cada unidad de M.S consumida, como por el ajuste total de la E.M. consumida.

El total de efectos sobre la E.M atribuible al nivel de alimento se ha resumido en la fórmula:

$Y = 9.5 + 0.11 x$ donde $Y =$ es la disminución de EM%. Al aumentar la energía de mantenimiento al doble Y es igual a EM como porcentaje de la energía al nivel de mantenimiento (Preston y Willis, 1975).

NIVEL DE CONSUMO

El nivel de consumo alimenticio es uno de los factores fundamentales que modifican los valores energéticos. Al aumentar consumo de un alimento la digestibilidad de los nutrientes y la ración total tiende a disminuir debido a un aumento en la velocidad de paso a través del tracto y a una disminución en la rata de degradación microbial por más permanencia del alimento en el rumen.

El efecto del consumo sobre la digestibilidad puede observarse en la Gráfica 2, que muestra la disminución relativa de la energía al aumentar el nivel de consumo, originando una merma en la digestibilidad de la materia orgánica en animales rumiantes con dietas en grano (Kromann 1973).

En general el consumo de materia seca en función del peso, disminuye en forma exponencial a medida que el animal engorda (Preston y Willis, 1975), y en dietas a base de concentrado la reducción es aproximadamente de un máximo de 2.9% en el animal lechero destetado de 100 kg hasta un mínimo de 1.8 2.0% a los 400 kg. Cuando se incluye forraje la reducción es menos manifiesta, como se observa en la Gráfica 3.

Se ha determinado que el consumo voluntario durante las primeras fases se calcula por la velocidad de paso de la digesta desde el rumen. Más allá de ese punto se considera que los factores que determinan la saciedad son termostáticos y por lo tanto una función de estado fisiológico del animal.

Así Aitken y Preston (1964) observaron que las vacas comían más a principios que a fines de lactancia debido a la eliminación más rápida de energía corporal (como leche) y al intento del animal por mantener el equilibrio energético, del mismo modo que los animales en estado de magrez consumen más que los animales gordos.

El punto máximo de consumo no está fijo y él, depende de la densidad de la dieta y de la demanda de energía del animal. Altas demandas energéticas requieren un mayor llenado ruminal ó una mayor rata de paso de tal que el llenado ruminal viene a ser limitante de diversos compuestos de energía.

En la Gráfica 4, la línea horizontal representa la relación forraje-concentrado (25-50-75-100) que debe recibir el animal para obtener los niveles productivos, que se encuentran representados en la línea vertical derecha.

Flatt et.al. (1965) demostraron que las vacas en lactancia están en capacidad de movilizar cantidades de tejido corporal en los primeros días de lactancia si los niveles alimenticios son bajos e inversamente, durante los últimos períodos están en capacidad de depositar gran cantidad de reservas corporales en los tejidos y los cambios corporales no reflejan necesariamente un cambio seguro en las reservas corporales y la movilización no aparente de estas reservas energéticas pueden significativamente afectar la cantidad de alimento requerido por unidad de leche producida.

DIGESTION DEL ALIMENTO

La digestibilidad influencia en forma directa la energía total de un alimento, ya que es responsable de la pérdida de energía a través de las heces, siendo está la mayor pérdida ocurrida en el aprovechamiento de las sustancias.

Asumiendo un adecuado abastecimiento de los nutrientes, la composición química de la ración es el factor de primera influencia y el efecto de la lignina y el contenido de la pared celular es de fundamental importancia para producir variación en la digestibilidad del producto. Así como también el efecto se presenta cuando varios elementos son combinados produciendo un efecto asociativo de tipo positivo o negativo.

Este efecto en sí es de doble vía, en el caso de 2 elementos en la ración lo que quiere decir que la digestibilidad de los elementos combinados, no necesariamente será aditivo y esta digestibilidad no siempre será la suma de las digestibilidades ó en otras palabras, la energía digestible de un elemento no se puede determinar por diferencia (Kromann 1973).

Por otra parte, el efecto asociativo es supremamente importante cuando la energía es de 67% ó menos y el alto consumo afecta tanto la E.D como la E.M. Así como también el procesamiento del alimento afecta en forma directa la digestibilidad, (Krox and Handley 1973).

FORMA FISICA

La forma de suministrar el alimento a los animales tiene un efecto directo sobre la digestibilidad y aprovechamiento del mismo. Según Blaxter (1961) el forraje finamente molido ó peletizado aumenta el consumo de materia seca en forma directa, pero a su turno disminuye la digestibilidad de la ración, incrementándose las pérdidas energéticas a través de la energía fecal y en ganado lechero disminuye contenido de grasa en la leche. Esto indica que la ración se debe ofrecer con una relación apropiada de forraje: concentrado,

lo que permite mantener una relación apropiada de los A.G.V. en el rumen que está dentro de rangos de 60-70% para el ácido acético; 15-20% para el ácido propiónico y 10-15% para el ácido butírico en animales comiendo forraje. (Lassiter y Edward 1982).

De otro lado, diversas formas de tratar el grano como calor, vapor, etc para ofrecerlo al animal, aumentan el aprovechamiento de las sustancias a nivel de mantenimiento y producción.

FACTORES METABOLICOS ASOCIADOS CON LA ABSORCION DE NUTRIENTES.

Algunos eventos físicos y metabólicos como la distensión ó llenado del rumen y la concentración de ácidos grasos volátiles (A.G.V) que aumentan durante y después de la comida, controlan el consumo de alimento.

El aumento en la concentración del acético se detecta en las paredes del rumen y el aumento en el propiónico se detecta en la circulación portal ó en el hígado. Los niveles de glucosa y el calor ganado durante el proceso alimenticio no tiene mayor efecto sobre el consumo de alimento

(Schmidt and Van Vleck 1974). La proteína grasa y relación concentrado forraje y factores misceláneos son puntos que en determinado grado afectan la eficiencia alimenticia. Por otro lado, se ha establecido que al aumentar la proporción de concentrado principalmente con los cereales; se reduce la relación acético:propiónico, sin embargo, cuando el forraje varía de 0-30% en una dieta a base de maíz no se observaron diferencias apreciables en esta proporción.

FACTORES QUE INFLUENCIAN LA EFICIENCIA EN EL USO DE LA ENERGIA

La utilización de la energía metabolizable no es igual en toda función productiva y está influenciada por:

1. Valor comparativo de forraje y concentrado
2. Influencia de la fibra ó contenido de la pared celular
3. Influencia de la comida y tiempo de rumia
4. Influencia de la relación de A.G.V en el rumen (Van Soest, 1983).

Los rangos aproximados en el empleo de la energía metabolizable pueden ser stress por frío 100%, mantenimiento 70-80%, lactancia 60-70%, crecimiento 40-60% y preñez 10-25%.

La energía metabólica de dietas altas en concentrado siempre son más eficientes que dietas de inferior calidad pero esta diferencia varia según la naturaleza del proceso productivo. Así por ejemplo : al nivel de mantenimiento la superioridad relativa de una dieta alta en energía 3.4 Mcal y una dieta baja 1.6 Mcal es sólo de 18%, en comparación de 100% cuando se refiere al engorde (Neville y McCullough 1968). Gráfica 5.

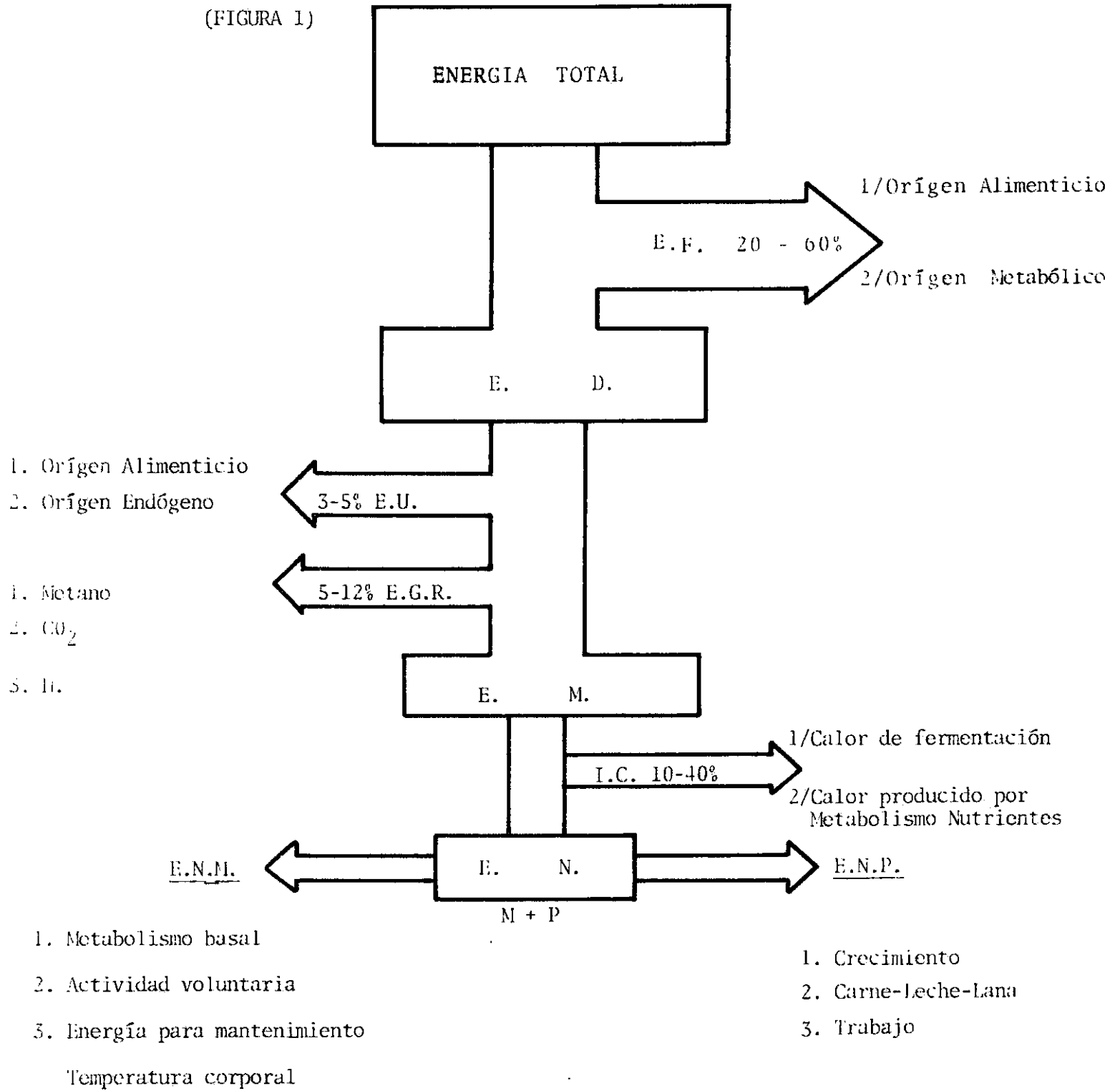
Otros autores han calculado que el requerimiento para una vaca de leche es de 36 a 58% más alto que para una vaca seca del mismo peso. La eficiencia en el uso de la energía metabolizable para lactancia es relativamente alta, siendo de aproximadamente 70%.

La concentración de energía digestible metabolizable en las dietas para vacas lactando, tiene una amplia influencia sobre la eficiencia en producción y la variación con la cual la energía metabolizable es usada para leche es menor. Por otro lado, la relación entre energía digestible y energía metabolizable no es constante pero si están influenciadas por la energía digestible así como por el consumo y la energía neta, y los cálculos para producir leche pueden ser expresados mediante la siguiente ecuación:

$$\text{E.N. Leche Mcal/kg M.S.} = \frac{.68 \text{ D.E. Mcal/kg M.S.} - .36}{.74}$$

Teniendo presente que la cantidad de E.N. requerida en términos generales para producir leche es igual al valor calórico producido por la leche que es de .74 Mcal/kg de leche al 4% de grasa.

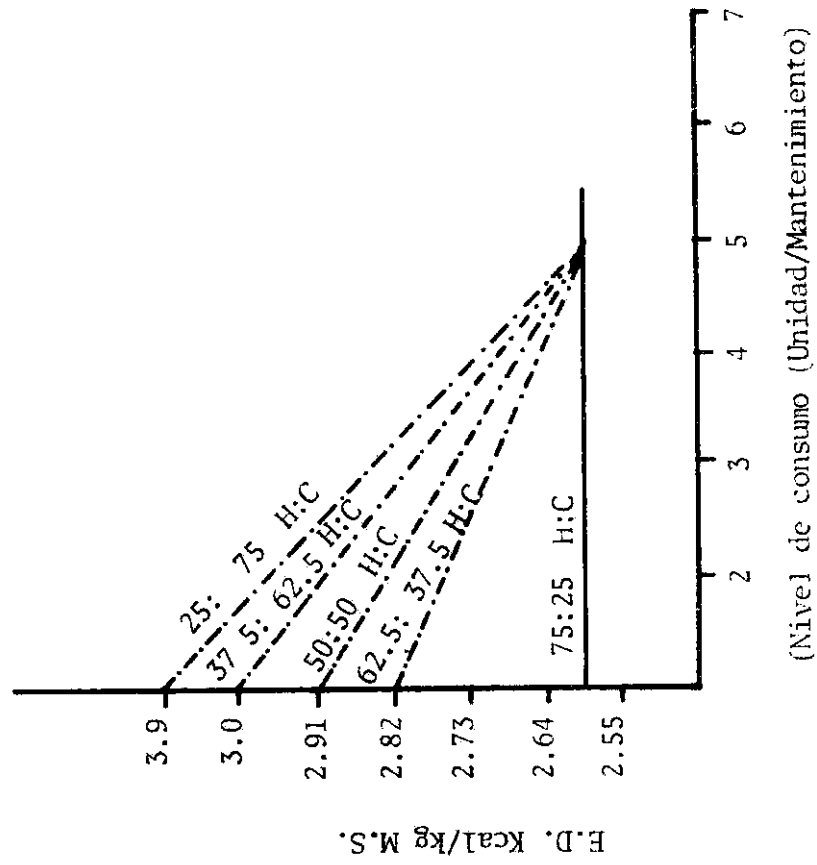
(FIGURA 1)

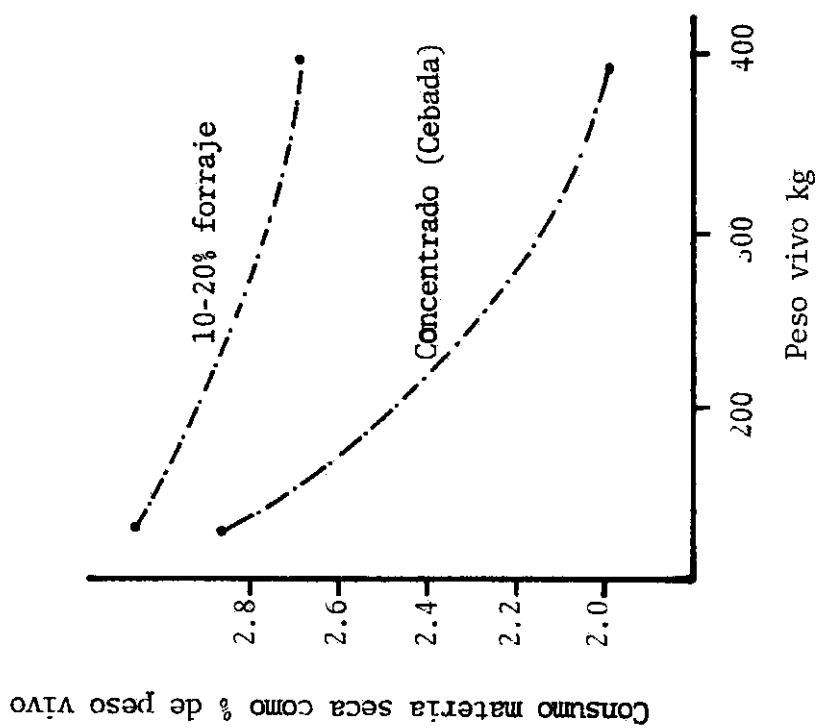


PERDIDAS DE ENERGIA DURANTE EL METABOLISMO EN BOVINOS

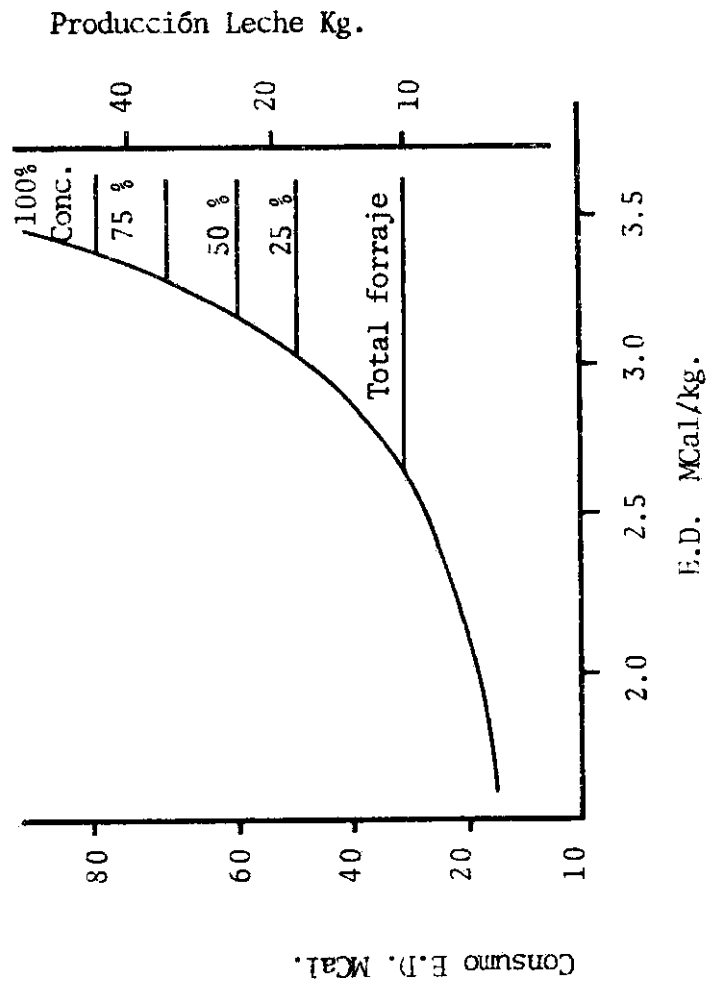
(Adaptada de: LASSITER and EDWARD. 1982.)

GRAFICA 2. Disminución relativa de E.D. en 5 raciones con heno: concentrado a 5 niveles de consumo en ganado de leche. (Kroman 1975).



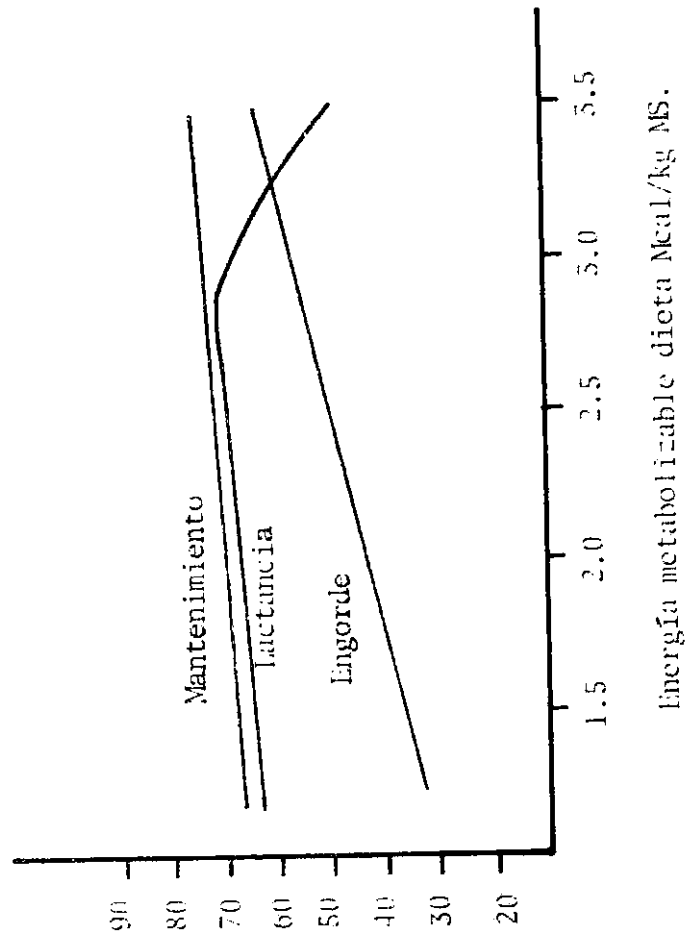


GRAFICA 3. Consumo de MS como función del peso en novillas lecheras en ceba intensiva con dietas altas en concentrado y 10-20% forraje. (Van Soest 1982).



GRAFICA 4. Relación entre consumo y nivel de producción vaca 650 kg diferentes cantidades de leche con 5.5% grasa. (Van Soest, 1982).

Eficiencia en el uso de la E.M. %



Energía metabolizable dieta Mcal/kg MS.

GRAFICA 5. Valores preferidos en la eficiencia en el uso de E.M. para mantenimiento, engorde y lactancia (Preston y Willis, 1975).

BIBLIOGRAFIA

1. ALTKEN, J.N. y T.R. PRESTON. 1964. The Self Feeding of complete milled rations to dairy cattle. Anim. Produc. 6: 220.
2. BALDWIN, R.L. and N.E. SMITH. 1974. Molecular control of energy metabolism. Citado por: Balwin et.al. 1980. En: Manipulating metabolic parameter to improve growth rate and milk secretion. J. Anim. Sci. 51: 1416.
3. BLAXTER, K.L. 1961. The utilization of energy of food Proc. 2nd Symp. Energy metabolism.
4. FLATT, W.P., I.A. MOORE, N.W. HOOVEN and R.D. PLAWMAN. 1965. Energy metabolism studies with a high producing dairy cow. J. Dairy. Sci. 48: 797.
5. KNOX, K.L. and T.M. HANDLEY 1973. The California net energy system. Theory and application. J. Anim. Sci. 37 (1): 19 a.
6. KROMAN, P.R. 1973. Evaluation of net energy system. J. Anim. Sci. 37 (1) 200.
7. LASSITER, J.W. and H.M. EDWARD. 1982. Animal nutrition. Reston publishing company, Virginia.
8. LOFGREEN, G.P. and W.N. GARRET. 1968. A system for expressing met energy requirement and feed values for growing and finishing beef cattle. J. Anim. Sci. 27:793.

9. LOFGREEN, G.P. 1976. Current trend in ruminant nutrition development and application of the net energy system. Animal meeting of the American Society of Animal Sci.
10. MOE, P.W., W.P. FLATT and L.A. MOORE, . 1965. Effect of level intake on energy losses by dairy cattle. J. Dairy Sci. 49: 714.
11. MOE, P.W., J.T. REID and H.F. TYRREL, 1972. Net energy value of feed for dairy cattle. J. Anim. Sci. 55:945
12. NATIONAL RESEARCH COUNCIL 1978. Nutrient requirement of cattle. Fifth revised edition. Washington D.C.
13. NEVILLE, W.E., Jr. y M.E. McCULLOUGH 1968. Feed requirements of beef, Cows, J. Animal. Sci. 27:295.
14. PRESTON, T.R. y M.B. WILLIS 1975. Production intensiva de carne. Ed. Diana México, pp. 244-254.
15. SCHMIDT, G.H. and L.D. VAN VLEEK. 1974. Principles of dairy science. W.H. Freeman and company. San Francisco.
16. TABLAS DE COMPOSICION DE ALIMENTOS DE AMERICA LATINA. 1974. Univ. Florida. Gainesville, Fla.
17. VAN SOEST J. PETER. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell. University pp. 455-66.
18. WALKER, D.M. y W.R. HEPBURN 1955. The nutritive value of roughages for sheep J. Agric. Sci. 45:298.