

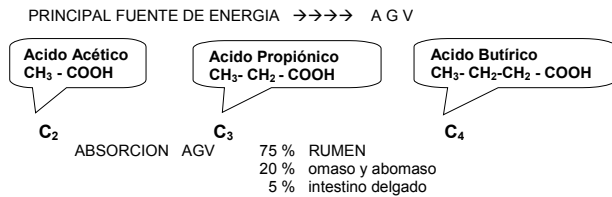
## Particularidades del metabolismo energético de la vaca lechera



DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL Y PASTURAS  
FACULTAD DE AGRONOMIA-UDELAR



## Particularidades metabolismo energético



## Particularidades metabolismo energético

### Los AGV como fuente de energía

Contrariamente al monogástrico para el cual la principal fuente de energía es la glucosa, el rumiante encuentra la mayor parte de la energía que requiere de los ácidos grasos volátiles resultantes de la degradación de los glúcidos.

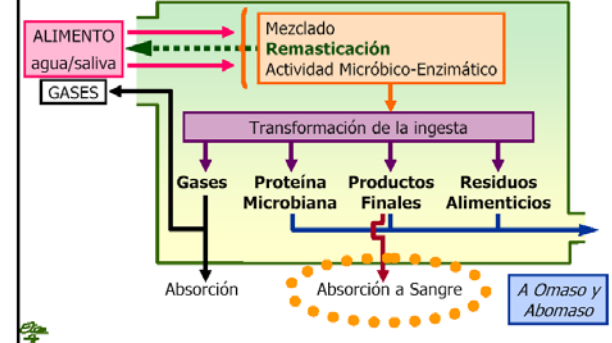
El propionato es utilizado preferentemente a nivel del hígado para la síntesis de glucosa. La neoglucogénesis es por lo tanto un fenómeno clave para el rumiante cuyos requerimientos son comparables a los determinados en el monogástrico.

Origen de la energía en el tubo digestivo del rumiante (%) (Vermorel, 1978)

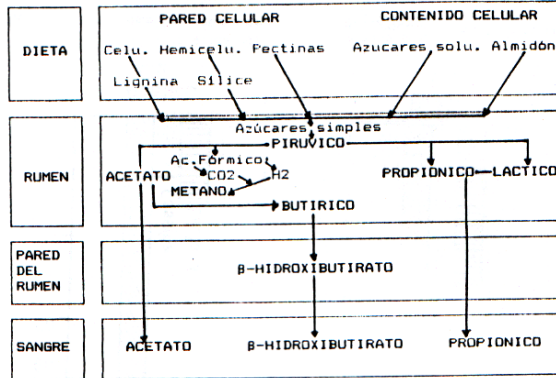
	AGV	glucosa	AA	AG largos
Heno de pradera	78	0.2	16	5
Ración mixta forraje/grano (70/30)	65	3	23	9
Ración rica en grano (30/70)	50	16	24	10

## Fisiología del Rumen

### Procesos en el Retículo-Rumen



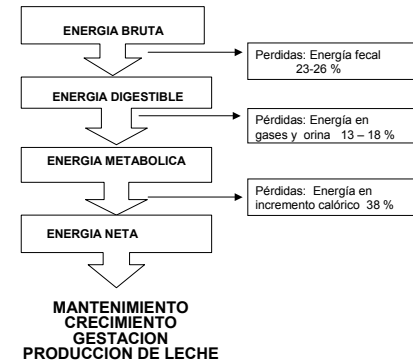
### Particularidades metabolismo energético



Digestión y metabolismo de los Carbohidratos en el rumen.

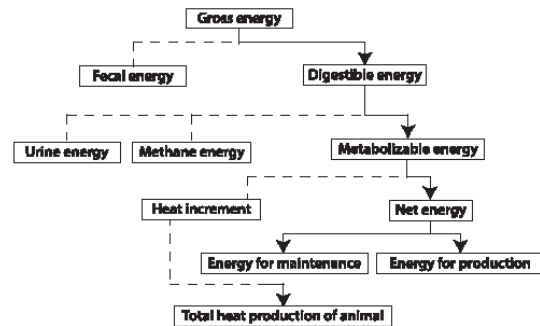
### Particularidades metabolismo energético

#### Las diferentes etapas de utilización de la energía por el rumiante



### Particularidades metabolismo energético

Energy Partitioning. From USDA, 2003.

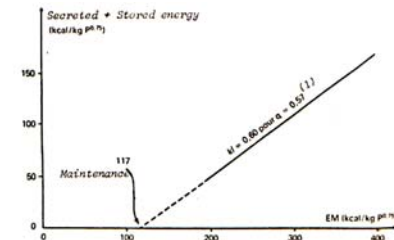


(---) not useful energy (—) useful energy

### Particularidades metabolismo energético

#### En vacas lecheras, la energía utilizada para mantenimiento, lactación y gestación es aproximadamente igual

k aprox. 60 – 70% con un valor promedio de 64.4%



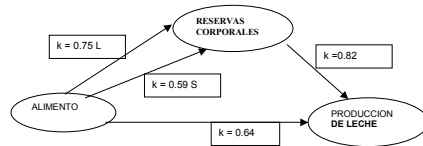
Efficiency (k) of metabolizable energy (EM) for lactation and maintenance requirement in dairy cow, adapted from VAN ES (1975)

$$(1) k = EM/EB ; EB = \text{gross energy}$$

Como resultado, los requerimientos en energía de la VL se expresan en una sola base: ENI (EN lactación)

### Particularidades metabolismo energético

Eficiencia de la movilización de las reservas para la producción de leche (Moe et al 1971)



- 1- una vaca en lactancia convierte la energía metabolizable (EM) de las reservas corporales en leche con una eficiencia de 82%
- 2- una vaca en lactancia convierte la EM del alimento directamente en leche con una eficiencia aproximada de 64%
- 3- una vaca en lactancia convierte la EM del alimento en reservas corporales con una eficiencia del 75%
- 4- Cuando la EM es almacenada durante la lactancia y luego movilizada, la eficiencia global del alimento a leche es del 62% (75% x 82%). El valor de la eficiencia correspondiente para almacenar reservas durante el periodo seco, con posterior movilización es de solo 48% (59% x 82%). Moe et al., 1971

### Particularidades metabolismo energético

#### Adaptaciones homeorhéticas al inicio lactancia

La vaca lechera de alta producción esta confrontada al inicio de la lactancia a una exportación masiva de lípidos, de proteínas y de lactosa hacia la glándula mamaria, representando en términos de energía 2 a 3 veces los requerimientos de mantenimiento para vacas produciendo 25 o 35 litros por día

⇒ en este estadio fisiológico, el organismo entero se vuelve un “apéndice” de la glándula mamaria, orientando la actividad de otros tejidos y órganos para sostener la secreción láctea

### Particularidades metabolismo energético

Bauman y Curie (1980) han propuesto utilizar el termino “homeorhesis” para describir las modificaciones coordinadas del metabolismo de los diferentes tejidos y de los flujos de nutrientes, que se ponen en marcha por el organismo animal en vista de sostener una función fisiológica particular (en esta caso, la secreción láctea).

Cuadro 1-Lista parcial de los cambios metabólicos asociados a la lactación en los rumiantes

Función fisiológica	Cambios metabólicos	Tejidos implicados
Síntesis lechera	uso de nutrientes▲	glándula mamaria
Metabolismo lipídico	lipólisis▲ y lipogénesis▼ cetogénesis▲	tejido adiposo hígado
Metabolismo glucídico	glucogenólisis y neoglucogénesis▲ glucosa ▼ y lípidos para energía▲	hígado diferentes tejidos
Metabolismo proteico	movilización de reservas proteicas▲	músculos y otros tejidos
Metabolismo mineral	absorción y movilización Ca▲	riñones y hueso

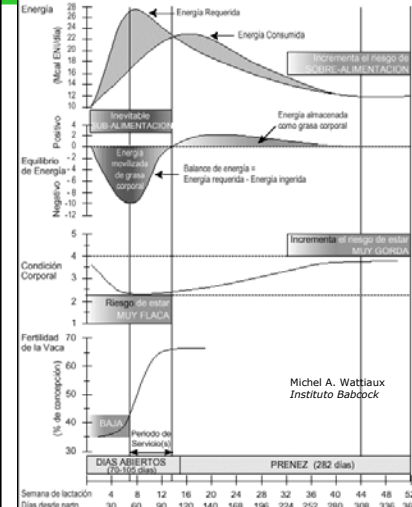
### Particularidades metabolismo energético

¿ *Cómo hace el organismo de la vaca lechera para enfrentar el déficit energético importante al inicio de la lactancia manteniendo simultáneamente la variación de la composición de la leche dentro de márgenes estrechos?*

Dos metabolismos actúan simultáneamente:

- el metabolismo lipídico por un lado, movilizando reservas lipídicas almacenadas luego de la transformación del excedente de energía ingerida al final de la lactación o durante el periodo seco
- el metabolismo glucídico por otro lado, ya que el requerimiento de glucosa aumenta linealmente con la cantidad de leche (de lactosa) producida. Sin embargo, en razón de la casi inexistencia de las reservas glucídicas movilizables y del escaso aporte de glucosa en los nutrientes absorbidos, los rumiantes deben recurrir a mecanismos de síntesis (neoglucogénesis) o de ahorro de glucosa, de manera de mantener la glicemia dentro de los límites compatibles con el buen funcionamiento del organismo.

### Particularidades metabolismo energetico



El aumento del nivel de producción lechera se acompaña de una movilización de peso al inicio de la lactancia. Las vacas de alta producción, aunque consumen mas alimento, no pueden satisfacer la totalidad del aumento de los requerimientos y presentan por ello un balance energético negativo.

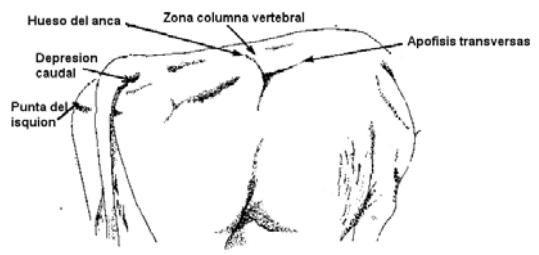
Ello también significa que los animales con un alto potencial de producción no lo exteriorizan a menos que logren movilizar las reservas corporales.

### Particularidades metabolismo energetico

La condicion corporal es la "herramienta" que se utiliza para monitorear el estado de las reservas corporales de la vaca lechera y poder determinar los estados "óptimos" para alcanzar la meta de una lactancia por año

### Particularidades metabolismo energetico

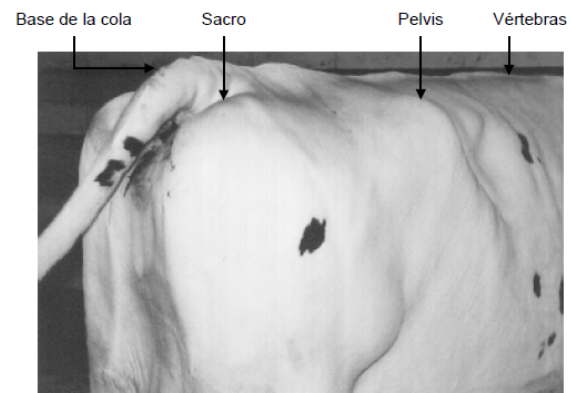
#### Localización de los sitios de observación para calificar CC



PROMEDIO NOTA DEL FLANCO DERECHO \_\_\_\_\_  
 PROMEDIO NOTA ATRAS \_\_\_\_\_

### Consumo

#### Partes del cuerpo usadas para evaluar la Condición Corporal



## Particularidades metabolismo energetico

### Zonas de observación para calificar CC en vacas lecheras

Video Dexel 2.49 min

[condition scoring for herds-FULL.flv](#)

- ◆ **CC menor a 2** (vaca muy flaca, no deseable en ninguna etapa lactancia)

[condition scoring 3-pt2.flv](#)

- ◆ **CC 2** (vaca flaca, estado "admisible" en pico de producción)

[condition scoring 4-pt3.flv](#)

- ◆ **CC 3** (vaca de lactancia media)

[condition scoring 5-pt4.flv](#)

- ◆ **CC 3.5** (estado previo al parto, fin periodo seco)

[condition scoring 6-pt5.flv](#)

## Consumo

### Condición corporal

Demasiado delgada (riesgo en lactancia temprana)      Condición apropiada      Demasiado gorda (riesgo en lactancia tardía)



1.5

3

4.5

## Particularidades metabolismo energetico

- ◆ Requerimientos para producción:

ENERGIA NETA PARA LACTACIÓN (NRC 1988)		
	vaca lechera en producción	EN l
EN l	producción de leche 3.5% g	0.70 Mcal / kg. leche
EN m	mantenimiento (600 kg)	9.7 Mcal / día
EN c	+ crecimiento 1ª lactancia	+ 20 %
	+ crecimiento 2ª lactancia	+ 10 %
EN ge	+ últimos 2 m gestación	+ 30 %
EN g	+ ganancias de peso	+ 5 .12 Mcal / kg
Aportes	- pérdidas de peso	- 4 .92 Mcal / kg

- ◆ A cuantos kg de PV equivale 1 punto de CC?

En una escala de 0 a 5, estudiando la relación entre la nota de CC y el tamaño del adipocito del tejido adiposo subcutáneo de la vaca, ha sido estimado en 28 a 33 kg de lípidos, o 35 a 48 kg de PV (vacas de 550 a 600 kg) (ITEB, Francia)

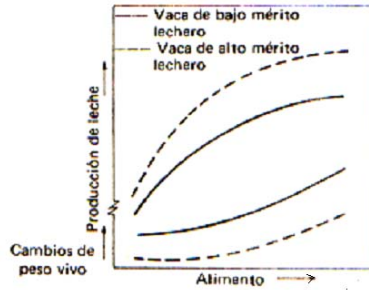
## Particularidades metabolismo energético- Factores de variación

### Factores que determinan la partición relativa entre la energía retenida en la leche y en las reservas corporales

- ◆ potencial de producción del animal
- ◆ estado de lactación
- ◆ composición de la dieta (valor lechero de la dieta)
- ◆ pasado del animal (estado corporal)

**Particularidades metabolismo energético- Factores de variación**

**Potencial genético**



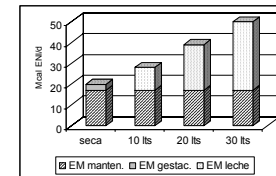
Modelo simplificado que describe las relaciones de alimento a leche y peso vivo en vacas lecheras de acuerdo al merito genético (Broster, 1976)

**Particularidades metabolismo energético**

**Requerimientos de mantenimiento**

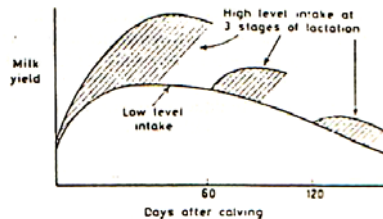
Los requerimientos de mantenimiento son generalmente algo superiores en la vaca en lactación que en la vaca seca. Esto podría resultar de un gasto suplementario asociado al aumento de las actividades ingestivas, digestivas y metabólicas durante la lactancia, que se acompañan de una hipertrofia de ciertos órganos (Smith y Baldwin 1974; Canas et al. 1982).

Por otro lado, es evidente que la proporción de energía requerida para mantenimiento (y de los requerimientos de crecimiento para las vaquillonas) disminuyen con el aumento del nivel de producción, de donde un aumento simultaneo de la eficacia global de transformación de la energía del alimento en leche



**Particularidades metabolismo energético- Factores de variación**

**Estado de lactación**



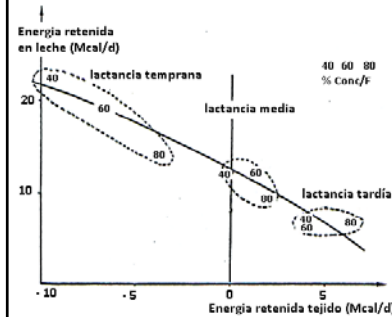
Disminución de la respuesta en leche a la suplementación a medida que avanza la lactancia (Broster et al., 1969)

La respuesta en leche al aporte de energía metabolizable será mayor cuanto mayor sea la brecha entre el nivel de aporte de nutrientes y el potencial de la glándula mamaria (función del estadio de lactación y del potencial genético)

**Particularidades metabolismo energético- Factores de variación**

**Composición de la dieta (valor lechero de la dieta)**

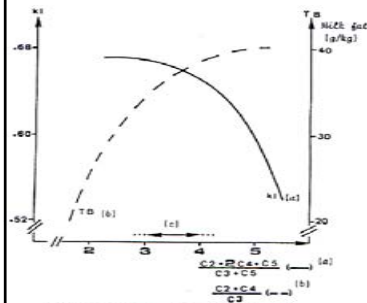
Efecto de la relación forraje concentrado y de la etapa de la lactancia sobre la partición de la EN entre leche y reservas corporales en la vaca lechera (Flatt et al., 1969)



La utilización de las raciones ricas (50 a 70%) en cereales (almidón) y/o forrajes finamente molidos y condensados, se acompaña de caídas del %G y de la producción de la grasa de la leche.

Paralelamente a la disminución de la energía segregada en la leche, se produce un aumento de la energía depositada por el animal (o una disminución de la energía movilizada)

## Particularidades metabolismo energetico- Factores de variacion



Relationship between ruminal volatile fatty acid proportions, efficiency of the utilization for lactation (K) and milk fat content

(a) calculations by ORSKOV (1977) for K  
(b) adapted from OLDHAM and SUTTON (1979) for fat content.  
(c) range permitting a high milk fat secretion together with a high energetic efficiency

Con regímenes ricos en almidón, la producción de propionato y de lactato en el rumen es aumentada y la glicemia y la insulinemia aumentan (Jenny y Polan 1975), lo que favorece el depósito de energía en el tejido adiposo (en lactancia media) o frena la lipomovilización (en lactancia temprana) en detrimento de la litogénesis mamaria.

Este equilibrio puede analizarse en función de las relaciones entre los AGV lipogénicos ( $C_2+C_4$ ) y glucogénicos ( $C_3$ )

## Particularidades metabolismo energetico

### ◆ Conclusiones

- El aumento del potencial de la producción de leche no se acompaña de un aumento equivalente de la capacidad de ingestión y de la digestión al inicio de la lactación  
⇒ la movilización de las reservas corporales resultante concierne fundamentalmente los lípidos
- Los principales factores de variación de la utilización de la energía metabolizable disponible para la producción residen en la partición de nutrientes entre la leche y las reservas corporales (el tejido adiposo principalmente)  
⇒ para una vaca determinada, la utilización de raciones más ricas en almidón tiende a orientar el flujo de nutrientes hacia el tejido adiposo y a hacer caer el contenido graso de la leche debido a una absorción excesiva de nutrientes glucoformadores, pudiendo también acarrear trastornos digestivos.

## Particularidades metabolismo energetico

### Costo energético de la actividad de vacunos en pastoreo

Oscar N. Di Marco y Mario S. Aello, 2003

Facultad de Ciencias Agrarias,  
Universidad Nacional de Mar del Plata/INTA,  
Unidad Integrada Balcarce,  
Estación Experimental Agropecuaria Balcarce

## Particularidades metabolismo energetico

### ◆ Costo energético de la actividad de vacunos en pastoreo

El costo energético extra de la actividad de bovinos en pastoreo es debido al efecto combinado del gasto de energía inherente a las acciones de caminar y pastorear o cosecha de forraje. Se considera que la actividad de rumia y de echarse y levantarse no difieren de los animales en confinamiento (Mc Graham, 1964a; Osuji, 1974; Holmes, McLean and Lockyer, 1978; Havstad y Malechek, 1982).

1. ¿Cuál es el costo energético de la caminata y pastoreo en animales en libre actividad?
2. ¿En qué medida la actividad de vacunos en pastoreo afecta el costo de mantenimiento del animal?
3. ¿Qué efecto puede tener el aumento del costo de mantenimiento en la producción de vacunos en pastoreo ?

## Particularidades metabolismo energetico

### ◆ Metodología

La técnica del radiocarbono se considera la metodología más apropiada para estudios con animales en libre actividad (Whitelaw, 1974; Sahlu y otros, 1988; White, 1993), ya que las mediciones se pueden realizar sin interferencias cuando los mismos caminan o pastorean en el potrero.

El gasto energético de la contracción muscular, como el de otras funciones, puede medirse en kilocalorías (kcal) o mega calorías (Mcal), o en términos de los mililitros de O<sub>2</sub> consumido o de CO<sub>2</sub> producidos durante la actividad

La metodología consiste en infundir en forma continua intraperitonealmente una solución de C<sub>14</sub> y determinar la radioactividad del C<sub>14</sub> en el CO<sub>2</sub> de muestras de saliva

El C<sub>14</sub> marca el CO<sub>2</sub> de todo el organismo y como la infusión es constante la radioactividad por unidad de CO<sub>2</sub> de la saliva (actividad específica) disminuye al aumentar la producción de CO<sub>2</sub>, y viceversa. Del cociente entre la tasa de infusión y la actividad específica se calcula la producción de CO<sub>2</sub>. Para utilizar esta metodología se requieren animales con catéteres en el peritoneo y en glándula parótida para la colección de saliva.

## Particularidades metabolismo energetico

### ◆ Efecto de las características de la pastura en el gasto energético por actividad de pastoreo

Table 2. Pasture characteristics and energy expenditure (EE) of steers at rest or during forage intake at moderate or high biting rate. Data adapted from Di Marco et al. (1996).

Variable	Moderate biting rates (28 bites/minute)	High biting rates (59 bites/minute)
Pasture characteristics		
Forage availability (kgDM/ha)	2280	1480
Plant height (cm)	26.9	10.5
EE (kcal/hour/kg <sup>0.75</sup> )		
Resting in corrals	3.42	3.56a
Forage harvesting	3.97	5.40b
Relative increase due to grazing (lg)	1.16	1.52

Means followed by different letters are significant (P<0.05) (lg) considering energy expenditure at rest = 1.00

⇒ En pasturas de buena disponibilidad, el gasto extra de energía por actividad es bajo, variando entre el 8 a 12 % , puede ser fácilmente compensado por un ligero aumento en el consumo

⇒ En pasturas de baja disponibilidad (y altura o estructura) donde hay severas limitantes al consumo de forraje, el costo extra de mantenimiento puede ser del 25 a 30 % , principalmente debido al costo de pastorear. En este caso si los animales no pueden compensar con un mayor consumo, el gasto energético extra afectaría considerablemente la producción

## Particularidades metabolismo energetico

### ◆ Costo energético de la caminata



## Particularidades metabolismo energetico

### ◆ Costo energético de la caminata

Table 3. Energy expenditure of steers at rest or during walking at different speeds on the flat or on a 6% gradient. Data adapted from Méndez et al. (1996) and Di Marco & Aello (1998).

Variable	Energy expenditure		Increase of energy expenditure per walked kilometer (kcal/km/kg <sup>0.75</sup> )
	kcal/hour/kg <sup>0.75</sup>	Iw	
Resting in corrals	3.42a	1.00	---
Walking on flat terrain:			
Speed 1 km/hour	3.92a	1.15	0.50
Speed 2 km/hour	4.40b	1.29	0.49
Speed 3 km/hour	4.72b	1.38	0.43
Speed 4 km/hour	4.83b	1.41	0.35
Walking on 6% grade terrain:			
Speed 2 km/hour	4.78b	1.40	0.68

Means followed by different letters differ (P<0.05)  
Iw: Relative increase due to walking

⇒ Al aumentar la velocidad de la caminata entre 1 y 4 km/h hubo un incremento del gasto de energía entre un 15 a 41%.

⇒ El costo de caminar una hora a alta velocidad (4 km/h) en terreno plano, resultó similar al de caminar en un terreno con 6% de pendiente a la mitad de velocidad (2 km/h).

### Particularidades metabolismo energetico

#### ◆ Efecto de la actividad en el costo de mantenimiento del animal

El aumento en los requerimientos de mantenimiento (I ENm) debido a las actividades de los animales en pastoreo pueden calcularse como:

$$I \text{ ENm} = (\text{horas descanso} \times 1 + \text{horas pastoreo} \times I \text{ past} + \text{horas caminata} \times Iw) / 24 \text{ horas}$$

Ej. Una vaca pastoreando 8 horas/día a una tasa de bocado moderada (I past= 1.16) y que camina 5 km/día a 2 km/hora en terreno plano, podría gastar 2.5 horas en caminar (Iw= 1.29) y estaría en reposo (incluyendo el tiempo insumido por la rumia) 13.5 horas (24 h-10.5 h). En este caso, I ENm sería:

$$I \text{ ENm} = (13.5h \times 1 + 8 h \times 1.16 + 2.5 h \times 1.29) / 24 = 1.08 (8\%)$$

Table 4. Expected increment of maintenance requirement (IMR) for different combinations of hours of grazing, biting rate, distance traveled and speed, in two topographies.

Hours of grazing	Biting rate	Distance (km)	Speed (km/h)	Topography	IMR (%)
8	Moderate	5	2	Flat	8
8	Moderate	5	2	Grade	10
11	Moderate	8	2	Flat	12
11	Moderate	8	3	Flat	12
8	High	5	2	Flat	20
8	High	5	2	Grade	22
11	High	8	2	Flat	29
11	High	8	3	Flat	28

### Particularidades metabolismo energético

Por lo tanto, las prácticas de manejo que posibiliten un mejor control de la altura, disponibilidad y/o estructura de la pastura reducirían el tiempo de pastoreo y la frecuencia de bocados, y en consecuencia disminuirían apreciablemente el costo extra de mantenimiento de los animales  
(Di Marco,1996)