

CURSO DE NUTRICION ANIMAL
2011
Tema 9 . BIOENERGETICA

Material elaborado por:

Ing. Agr. Roberto Bauza
 rbauza@fagro.edu.uy

Uruguay

ENERGIA

1. **Introducción:**
 - * Principios y Definiciones
 - * Requerimientos celulares de energía y su satisfacción
2. **Energía de los alimentos**
Esquema convencional de partición de la energía
3. **Requerimientos**
 - * Estimación
 - * Partición de los requerimientos
 - mantenimiento
 - producción
 - * Expresión de los requerimientos

BIOENERGÉTICA

- *Estudio de los cambios energéticos (transferencia y utilización de la energía) que acompañan las reacciones químicas en los organismos vivos.*
- *Estudio del aporte alimentario y de los requerimientos de energía de los animales*

Principios y definiciones

Energía = capacidad de realizar un trabajo

- **“Trabajo biológico”**= todo proceso llevado a cabo por el animal para crear y mantener su organización esencial:
 - Generación de gradientes eléctricos y químicos para transportes activos
 - Síntesis de macromoléculas
 - Contracción de músculos para realizar movimientos al interior o exterior del cuerpo

Formas de la energía

- **Energía química:** E retenida o liberada cuando los átomos se reordenan en una nueva configuración molecular
- **Energía eléctrica:** E obtenida por la separación entre cargas positivas y negativas
- **Energía mecánica:** E del movimiento organizado
- **Energía cinética o calor:** E de la materia debida al movimiento continuo al azar de sus átomos y moléculas

UNIDADES DE EXPRESIÓN DE LA ENERGÍA

caloría: calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua 1° C (de 14,5 a 15,5° C) a 1 atm de presión.

joule: energía necesaria para desplazar una masa de un quilogramo una distancia de un metro con una aceleración de un metro/segundo

Conversiones:

- 1 caloría → 4,184 joules
- 1 Kcal (quilocaloría) → 1000 cal
- 1 Mcal (megacaloría) → 1000 Kcal
- *Idem para los joules*

Formas de expresión de la concentración energética de un producto

- Base fresca:
– Mcal/kg de producto
- Base seca:
– Mcal/kg de MS

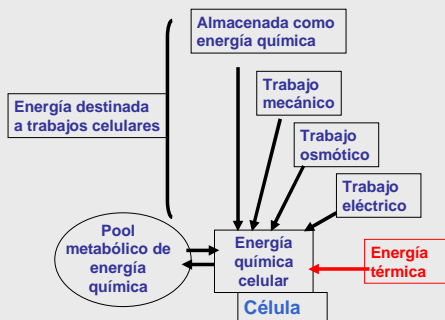
Energía para los animales

- Los animales utilizan la *energía química* liberada por ruptura de los enlaces de los productos orgánicos para realizar los “trabajos” celulares.
- La energía eléctrica y la mecánica se pueden utilizar para algunos trabajos fisiológicos
- La energía térmica no puede ser utilizada para ningún tipo de trabajo fisiológico

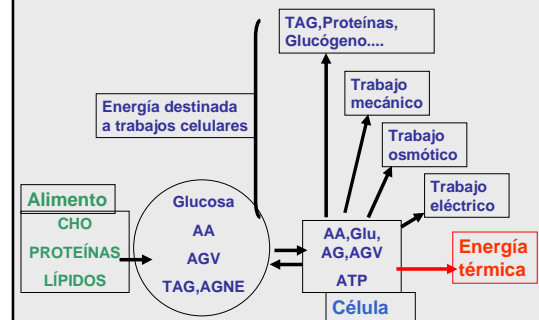
Energía para los animales

- Parte de la energía de los alimentos es retenida en tejidos del animal (o productos) en forma de energía química
- Parte de la energía se pierde en el proceso de síntesis, en forma de calor (ineficiencia)
- La energía utilizada en la realización de trabajos se transforma (pierde) en calor

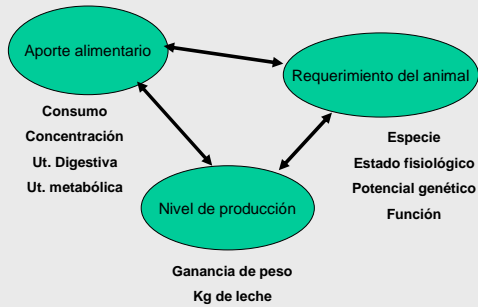
Requerimientos celulares de energía



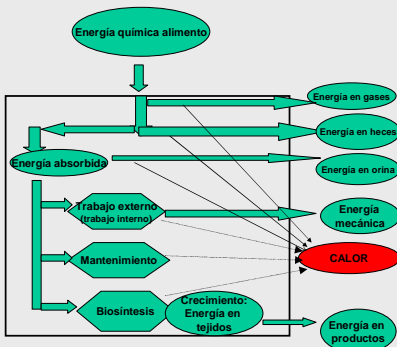
Satisfacción de los requerimientos celulares de energía



BALANCE ENERGETICO DE DIETAS



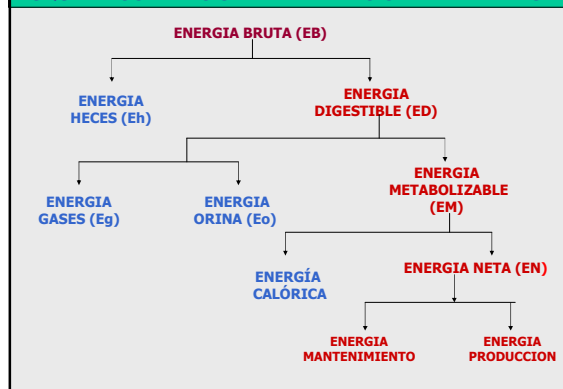
ENERGÍA ALIMENTARIA



Cuantificación de las pérdidas

Pérdida	% de la EB consumida	
Heces (Eh)	20 - 50	
Gases (Eg)	8 - 10	
Orina (Eo)	3 - 7	
Calor	Fermentación	5 - 6
	Digestión	1 - 2
	Metabolismo	18 - 20

ESQUEMA CONVENCIONAL DE PARTICION DE LA ENERGIA



ENERGIA BRUTA (calor de combustión)

- *Energía liberada como calor cuando una sustancia orgánica es oxidada totalmente a CO₂ y H₂O.*

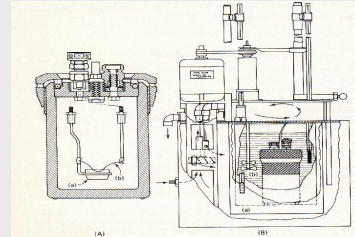
- *Es el punto de partida para conocer la energía de un alimento o de una ración, que es utilizada en los procesos corporales.*

ENERGIA BRUTA (Formas de determinación)

- Contenido de energía en un peso dado de un compuesto, medido como calor de combustión en un calorímetro (bomba calorimétrica).

- Estimación a partir de la composición química (análisis de Weende) y los valores de combustión de los carbohidratos, proteínas y lípidos

Calorímetro (Bomba calorimétrica)



COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE CARBOHIDRATOS, PROTEÍNAS Y GRASAS

Item	C	H	O	N
Carbohidratos	44	6	50	
Proteínas	52	6	22	16
Grasas	77	12	11	

C: Carbono; O: Oxígeno; H: Hidrógeno; N: Nitrógeno

1 gr. C → 8 Kcal

1 gr. H → 34,5 Kcal

Maynard et al., 1979

ENERGIA BRUTA DE LOS COMPONENTES DEL ALIMENTO

EB Promedio	Kcal / g
CARBOHIDRATOS	4,15
PROTEINAS	5,65
LIPIDOS	9,40

Maynard et al., 1979

ESTIMACIÓN DE LA EB A PARTIR DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

- $EB(\text{Mcal/Kg}) = 5.65 \text{ PC} + 9.4 \text{ EE} + 4.19 \text{ FC} + 4.17 \text{ ELN}$
• (fracciones expresadas en proporción de la unidad)
- Ecuación de EWAN (1989)
 $EB (\text{kcal/kg MS}) = 4143 + (56 \times \%EE) + (15 \times \%PC) - (44 \times \%Ce)$
 $R^2 = 0.98$
(se aplica en el caso de alimentos o raciones constituidas por un alto porcentaje de hidratos de carbono)

ENERGIA BRUTA

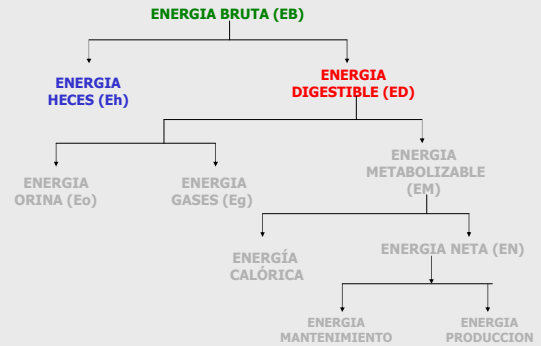
SUSTANCIAS PURAS	Kcal / g
Glucosa	3,76
Almidón	4,23
Caseína	5,86
Globulina	5,36
Ac. Acético	3,49
Ac. Propionico	4,96
Ac. Butírico	5,35
Ac. Palmítico	9,35
Urea	2,53
Acido úrico	2,74
Metano	13,25

ENERGIA BRUTA (base seca)

ALIMENTOS	Kcal / g
Maíz (grano)	4,55
Trigo (afrechillo)	4,54
Harina de soja	4,72
Soja (poroto)	5,52
Raigrás (vegetativo)	4.54
Heno de alfalfa	4.37
Chala de maíz	4.33
Sebo vacuno	9.46

Mc. Dowell, 1974 – Church, 1979 - INRA, 1989

ESQUEMA CONVENCIONAL DE PARTICION DE LA ENERGIA



Definiciones : ENERGIA DIGESTIBLE (ED)

Es la parte de la energía alimentaria consumida que no aparece en las heces

$$ED = EB - (E \text{ heces} - E \text{ endógena})$$

En el proceso de utilización de la energía ingerida la pérdida en las heces es la primera y, cuantitativamente, la más importante y más variable.

$$(ED = 30 - 90 \% \text{ de } EB)$$

Definiciones : ENERGIA DIGESTIBLE (ED)

- **Digestibilidad de la Energía:**
Proporcional a la digestibilidad de la MO

ENERGIA DIGESTIBLE (Determinación)

A) PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD

- **Calorimetría (bomba calorimétrica):** restando a la EB consumida la EB de las heces se obtiene la energía digestible aparente.
- Estimaciones a partir de composición química de ingerido y excretado
- Determinación de Nutrientes Digestibles Totales (NDT)

ESTIMACION DE ED POR CALOR DE COMBUSTIÓN (NRC 2001)

Cerdos:

- $ED \text{ (Mcal/kg)} = (CNED \times 4.2) + (FDND \times 4.2) + (PCD \times 5.6) + (EED \times 9.4) - 0.3$
- Fracciones expresadas como fracción de la unidad

ENERGIA DIGESTIBLE

- B) ESTIMACION A PARTIR DE C.Q.
- **Cerdos** (Noblet y Perez, 1993)
- $ED \text{ (kcal/kg)} = 4151 - (122 \times \%C) + (23 \times \%PC) + (38 \times \%EE) - (64 \times \%FC)$
- $R^2 = 0.89$
- $ED \text{ (kcal/kg)} = 949 + (0.789 \times EB) - (43 \times \%C) - (41 \times \%FDN)$
- $R^2 = 0.91$

NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES (NDT)

Valores fisiológicos de combustión

Grupo nutrientes	EB Kcal/g	Pérd Fecal (%EB)	ED Kcal/g	Pérd. Orina % ED	VFC Kcal/g
CHO	4.15	2	4.00	0	4.00
Grasas	9.45	5	9.00	0	9.00
Proteínas	5.65	8	5.2	23	4.00

NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES (NDT)

- $NDT \% = 1 \times \%PCD + 1 \times \%FCD + 1 \times \%ELND + 2.25 \times \%EED$
- $1 \text{ kg NDT} = 4.409 \text{ Mcal ED}$
- $ED \text{ (Mcal/kg)} = \% NDT \times 0.04409$

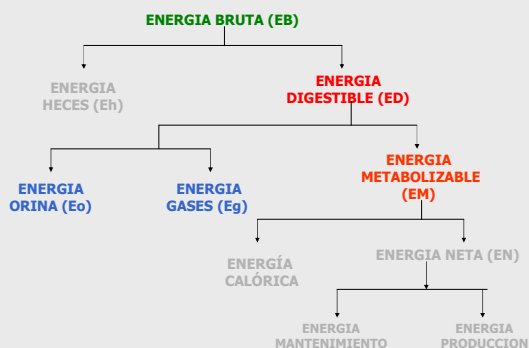
NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES (NDT)

NRC 2001

$$NDT \% = CHONed + PCd + 2.25 EEd + FDNd - 7$$

Fracciones en %

ESQUEMA CONVENCIONAL DE PARTICION DE LA ENERGIA



Definiciones: ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

- Cantidad de energía proveniente del alimento que dispone el animal para sus procesos metabólicos

Sustrayendo a la ED la energía perdida en los productos gaseosos de la digestión y la energía perdida en la orina, se obtiene la Energía Metabolizable (EM).

$$EM = ED - Eg - Eo$$

$$EM = Ec - Eh - Eg - Eo$$

ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

-Pérdidas de E en gases

Origen: procesos de fermentación en el TGI.

- La pérdida de energía por gases más importante corresponde al metano.

EB del metano = 13.34 Mcal/kg

Pérdidas como gases:

Rumiantes: 7 - 10 % de EB consumida
 Cerdos: 0.1 - 3 % (en alimentos concentrados se desprecia)

ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

-Pérdidas de E en orina:
 (Compuestos nitrogenados)

Compuesto	% del N total
Urea	80 - 90
Creatinina	3 - 4
NH ₄ ⁺	2.5 - 4.5
Ác.Úrico	1 - 2 (80 %, aves)
AA	1 - 2

ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

-Costo energético de la excreción de N:

Urea: EB = 5.50 Mcal/kg

Acido Úrico: EB = 6.70 Mcal/kg

ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

-Pérdidas de E en orina:

rumiantes: 4 - 5 % de EB consumida

cerdos: 2 - 3 %

ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

• -Relación promedio EM/ED

- Rumiantes: 0.82
- Cerdos: 0.96

ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

-Corrección por balance de N

mamíferos: 7.45 kcal/g de N

Aves: 8.22 kcal/g de N

Balance negativo: se adiciona
positivo: se resta

ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

METABOLICIDAD DE LA ENERGIA

$$q = EM / EB$$

METABOLICIDAD DE LA ENERGÍA (q)

Causas de variación de q:

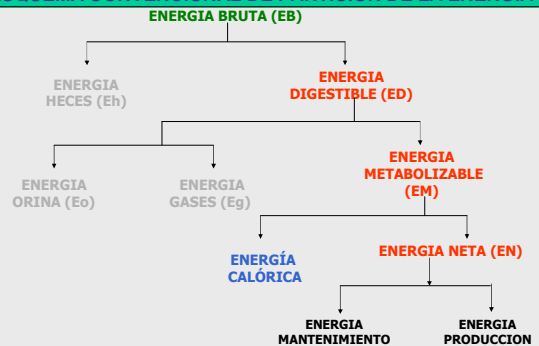
- Especie animal (tipo de digestión)
- Tipo de alimento
 - Concentrados
 - Alimentos fibrosos
 - Ensilados

Alimento	Cerdos	Rumiantes
Maiz	0.89	0.74
Af. Trigo	0.48	0.56
Heno alfalfa	0.42	0.57
Ensilado forraje		0.61

Rangos de “eficiencia” de uso de la EB y ED en las dietas

Animal	ED/EB	EM/ED	EM/EB
• Cerdos y Aves	60 a 98	92 a 98	55 a 97
• Caballos y Conejos	30 a 90	85 a 94	26 a 85
• Rumiantes	40 a 90	78 a 87	31 a 82

ESQUEMA CONVENCIONAL DE PARTICION DE LA ENERGIA



Definiciones : ENERGIA NETA (EN)

Aporte energético del alimento que efectivamente es utilizado por el animal.

- Parte de la EM que es retenida como producto/s (carne, leche, huevos, etc.) y/o utilizada en las funciones de mantenimiento del organismo.

$$EN = EM - IC$$

IC = Incremento en la producción de calor resultado de la ingestión de alimentos

Incremento calórico (IC)

Incluye calor proveniente de:

- Fermentaciones microbianas

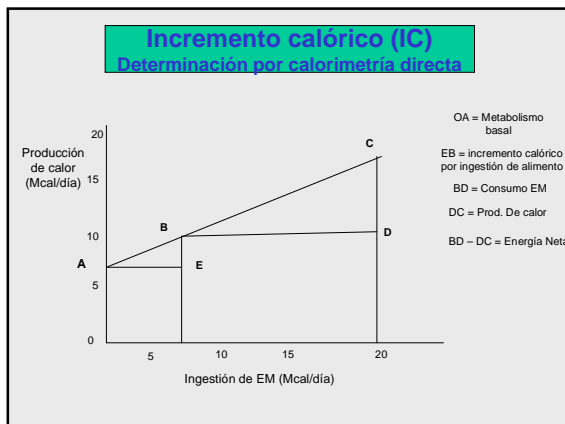
-Trabajo:

- movimiento del TGI

- acción de enzimas digestivas

-Metabolismo de nutrientes (mantenimiento y síntesis)

- Excreción de productos de desecho



UTILIZACIÓN DE LA ENERGIA POR EL ANIMAL

ENERGIA NETA (EN)

USOS de la EN

- * **Mantenimiento**
- * **Producción**

Eficiencia de transformación de EM en EN

$$k = EN / EM$$

El valor de EN de un alimento para un mismo género y especie animal es variable en función del proceso fisiológico (mantenimiento, lactación, crecimiento, engorde, etc.) en el cual es utilizada la EM .

Definiciones Energía Neta para mantenimiento (ENm)

- Fracción de la EN consumida destinada a mantener el equilibrio energético del animal .
- Comprende la energía destinada a:
 - Metabolismo basal
 - Termorregulación
 - Actividad voluntaria del animal.

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

- **METABOLISMO BASAL**
 - Necesidades energéticas de un organismo animal en post-absorción, reposo y ambiente termoneutro
 - Incluye:
 - Funciones de servicio
 - Funciones de mantenimiento celular

La energía empleada en estos procesos se disipa como calor, siendo - en muchas condiciones climáticas - este calor suficiente para mantener la temperatura interna.

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

- **METABOLISMO BASAL**
 - Funciones de servicio
 - trabajo de circulación y respiración
 - trabajo hepático y renal
 - funciones nerviosas
 - funcionamiento de órganos vitales

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•METABOLISMO BASAL

•Funciones de mantenimiento celular

- Renovación de proteínas y lípidos
- Transporte de iones (Ca y Na, principalmente)

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•METABOLISMO BASAL

•Distribución del costo energético

- Funciones de servicio: 50 – 60 %
- Mantenimiento celular: 40 – 50 %

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•METABOLISMO BASAL = Producción de calor en ayuno

- Proporcional al Peso Metabólico Corporal

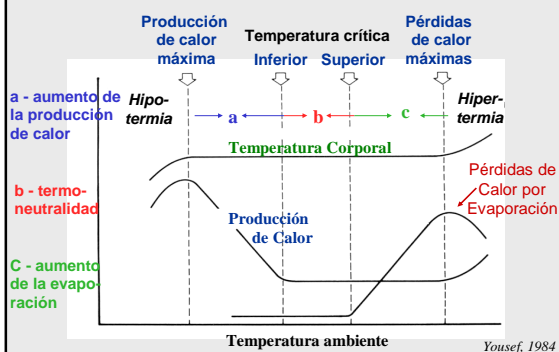
$$PMC = PV^{0.75}$$

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•TERMORREGULACIÓN:

= E destinada a mantener la T corporal

TEMPERATURA AMBIENTE Y TERMORREGULACION



Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•TERMORREGULACIÓN:

•Costo energético (cerdos) (Noblet, 1985)

5.5 – 6.7 Kcal EN / KPV^{0.75} / °C/día
(°T por debajo de la TCI)

Disminución ingestión:

1.7 % / °C por encima de TCS

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•**TERMORREGULACIÓN:**

•Costo energético (bovinos, NRC 2000)

$$ENm = 0.0007 * (20 - T) \text{ Mcal/PV}^{0.75}/\text{día}$$

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•**ACTIVIDAD VOLUNTARIA =**

E para acostarse/levantarse, búsqueda e ingestión de alimentos y agua, etc

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•**ACTIVIDAD** : Gasto energético relativo al MB en ovejas.

SITUACIÓN		Aumento en ref. al MB
Metabolismo basal	100	
Brete pequeño	116	16%
Alta disp. de pastura	134	34%
Baja disp. y agua lejos (5Km)	172	72%
Terreno escarpado	153	53%

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•**ACTIVIDAD** : Incremento del costo energético de mantenimiento

General : 10 a 15 % cuando la actividad se realiza a la intemperie.

Vacas lecheras en lactación:

10 % en buenas pasturas → 1,4 Kg leche

20 % en pasturas pobres → 2,6 Kg leche

(NRC , 1988)

Ovinos:

20 a 30 %: *pastoreo 1 - 2 hrs./día , buena disponibilidad de pasturas.*

50 a 100%: *pastoreo 6 - 8 hrs./día, baja disponibilidad de pasturas*

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

Costo energético de la actividad voluntaria (bovinos)

ACTIVIDAD	cal / Kg PV / hora
Comer	0,55
Rumiar	0,24
Parado	0,12
Caminar:	
horizontal	0,6 / Km
vertical	6,45 / Km

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

Costo energético de la actividad voluntaria (cerdos, NRC 1998)

ACTIVIDAD	Costo
Comer	14 - 35 Kcal/kg alimento
Parado	6,5 Kcal/KMC/100 min
Caminar:	1,67 Kcal/KPV/Km

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•Bovinos

•Req. bovinos carne y leche :

$$ENm = 0.077 \text{ Mcal} / KPV^{0.75}$$

Eficiencia en la utilización de la EM del alimento para mantenimiento:

- $km = 0.28 q + 0.554$ (INRA)

- $km = 0.64$ (NRC)

Fuente: NRC (2000)

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•REQUERIMIENTOS PARA MANTENIMIENTO:

Cerdos

$$ENm = 0.077 \text{ Mcal} / KPV^{0.75}$$

$$Km = 0.67$$

Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•REQUERIMIENTOS PARA MANTENIMIENTO

•Ejemplo de cálculo:

- Peso vivo = 65 kg = 22.9 kg PMC

- Req. EN/día: 1.763 Mcal

- EM = 2.63 Mcal/día
(aprox. 0.8 kg alimento con 3.2 Mcal EM/kg)

- + costo de termorregulación + actividad

Cerdos

$$ENm = 0.077 \text{ Mcal} / KPV^{0.75}$$

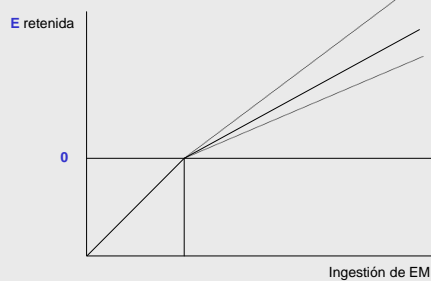
$$Km = 0.67$$

Energía Neta para producción (ENp)

- = Energía retenida en los tejidos sintetizados
- Incorporados = ganancia de peso
- Exportados: p.ej: producción de leche

Energía Neta para producción (ENp)

Utilización de la energía metabolizable



Energía Neta para producción (ENp)

•EN para ganancia de peso:

Costo de la ganancia

Proteína: 10.6 Mcal /kg
Grasa: 12.5 Mcal /kg

[tejido magro = 20 – 23 % Proteína]

[tejido adiposo = 80 -95 % Grasa]

- Costo de 1 kg de tejido magro: 5.5 Mcal

- Costo de 1 kg de tejido adiposo: 9.5 Mcal

Energía Neta para producción (ENp)

Bovinos:

Uso de la EM del alimento para ganancia:

$$kg = 0.78 q + 0.006$$

Valor promedio $kg = 0.5$

$$ENg \text{ (Mcal/kg)} = 1.42 EM - 0.174 EM^2 + 0.0122 EM^3 - 1.65$$

Fuente: NRC 2000

Energía Neta para producción (ENp)

Cerdos:

$$kg = 0.60 - 0.7$$

Energía Neta para producción (ENp)

•EN para producción de leche

Bovinos:

$$E \text{ retenida en la leche (Mcal/kg)} = 0.0929 \times \% EE + 0.0547 \% PC + 0.192$$

Uso de la EM para producir leche:

$$kl = 0.64$$

$$kl = 0.6 + 0.24 (q - 0.57)$$

Energía Neta para producción (ENp)

•AVES

•EN para ganancia de peso

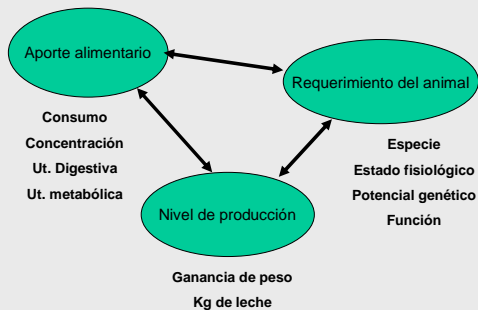
$$kg = 0.75 - 0.8$$

•EN para producción de huevos

Gallinas:

$$kh = 0.69$$

BALANCE ENERGETICO DE DIETAS



Aplicación práctica

