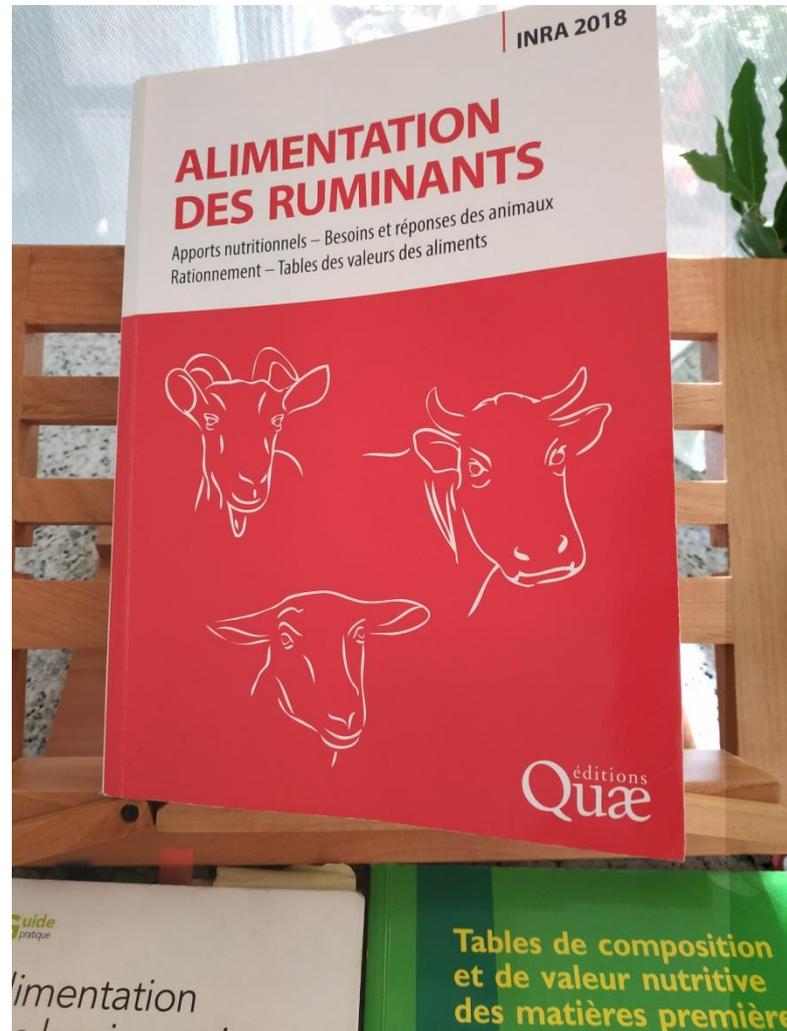


Racionamiento vacas de leche



Etapas de la formulación de la ración

1. Prever las **necesidades nutritivas** y la CI
2. Disponer del **valor nutritivo de los alimentos** disponibles
3. Prever los efectos de las **interacciones digestivas** del **nivel de ingestión**, la **proporción de concentrados** y el **balance proteico en el rumen (BPR)**
4. Calcular las cantidades de cada alimento que en conjunto satisfagan las necesidades nutritivas que se van modificando conforme las interacciones en el seno de la ración
5. Integrar las diversas estrategias de alimentación - en pasto o en estabulación; *ad libitum* o no - y calcular la eficacia alimentaria diaria y los balances nutritivos

El ciclo productivo anual

Objetivo: calcular la producción de leche diaria para una semana determinada de la lactación

Datos necesarios:

- Producción a 305 días
- Tasa de grasa (%)
- Tasa de proteína (%)
- Peso vaca adulta (kg)
- Edad en meses
- Condición corporal vaca seca al parto
- Peso ternero al nacimiento

El ciclo productivo anual: determinar la producción de leche máxima (pico)

- Primíparas:

$$Pl_{305} \times \{1 + [0,0055 \times (tg \times 10^{-40}) + 0,0033 \times (tp \times 10^{-31})]\} / 260$$

- Multíparas:

$$Pl_{305} \times \{1 + [0,0055 \times (tg \times 10^{-40}) + 0,0033 \times (tp \times 10^{-31})]\} / 230$$

La producción potencial al en el pico (tg 4%, tp 3,1%) marcará la producción potencial día a día desde el parto

El ciclo productivo anual: determinar la producción de leche potencial

- Objetivo: $PI (sl)_{pot}$ producción diaria en la sl
- Datos necesarias:
 - Intervalo entre partos (días): $IP/7 = IP$ en semanas
 - Semana lactación (sl)
 - Semana fecundación (sf): entre 8 y $(IP - 40)$
 - Semana gestación calculada en lactación (sg): $sl + 1 - sf$

1. Primíparas:

$$PI(sl)_{pot} = PI_{pic} \times (-0,55 + (1,66 \times \exp^{(-0,0065 \times sl)}) - (0,72 \times \exp^{(-0,44 \times sl)}) - (0,69 \times \exp^{(-0,16 \times (45 - sg))})$$

2. Multíparas:

$$PI(sl)_{pot} = PI_{pic} \times (-0,83 + (1,92 \times \exp^{(-0,0083 \times sl)}) - (0,74 \times \exp^{(-0,88 \times sl)}) - (0,50 \times \exp^{(-0,12 \times (45 - sg))})$$

El ciclo productivo anual: la condición corporal (0 a 5)

- Objetivo: Calcular *movilización potencial* (+ o -) reservas energía (**UFL_VPR_{pot}**) en UFL/día y proteicas (**PDI_VPR_{pot}**)
- Datos necesarios:
 - CC al parto (cc_{parto})
 - Semana lactación (sl)
 - Producción potencial máxima (Pl_{pic})

1 punto CC moviliza o reconstituye 206 UFL

$$\mathbf{UFL_VPR_{pot}} = -k + [A/(1 - B)] \times [\exp^{(-B \times sl)} - \exp^{(-sl)}]$$

$$A = -9,5 + 0,4 \times Pl_{pic} \times + 1,89 \times cc_{parto} \quad (\text{primíparas})$$

$$A = -13,2 + 0,4 \times Pl_{pic} \times + 1,89 \times cc_{parto} \quad (\text{multíparas})$$

$$B = 1/cc_{parto}$$

$$K = A/52 \times B$$

El ciclo productivo anual: la condición corporal (0 a 5)

$$\text{PDI_VPR}_{\text{pot}} = \text{PDI_ut} + 33 \times \text{UFL_VPR}_{\text{pot}} \text{ en g PDI/día}$$

PDI_ut: movilización suplementaria al inicio de la lactación asociada a la involución uterina

sl = 1, PDI_ut = 100 g PDI/día

sl = 2, PDI_ut = 50 g PDI/día

El ciclo productivo anual: la condición corporal (0 a 5)

- Ejemplos Calcular *movilización potencial* (+ o -) reservas energía (**UFL_VPR_{pot}**) en UFL/día y proteicas (**PDI_VPR_{pot}**)

sl = 2: **UFL_VPR_{pot}** = 4,72 UFL/día **PDI_VPR_{pot}** = 205,69 g PDI/día

sl = 15: **UFL_VPR_{pot}** = - 0,44 UFL/día **PDI_VPR_{pot}** = -14,54 g PDI/día

En el primer caso, la vaca *aporta* (la ración no necesita tanto)

En el segundo caso, la vaca *necesita* reconstituir (la ración tiene que ser más rica)

El ciclo productivo anual: la condición corporal (0 a 5)

- Objetivo: Calcular la CC a una semana de lactación (cc_{sl}) necesario para calcular la capacidad de ingestión
- Datos necesarios:
 - CC al parto (cc_{parto})
 - Semana lactación (sl)
 - Producción potencial máxima (Pl_{pico})

$$cc_{sl} = cc_{parto} - 0,034 \times [A/B - K \times sl + (A/(1 - B)) \times (\exp^{-sl} - (\exp^{-B \times sl})/B)]$$

$$A = - 9,5 + 0,4 \times Pl_{pico} \times x + 1,89 \times cc_{parto} \quad (\text{primíparas})$$

$$A = - 13,2 + 0,4 \times Pl_{pico} \times x + 1,89 \times cc_{parto} \quad (\text{multíparas})$$

$$B = 1/cc_{parto}$$

$$K = A/52 \times B$$

El ciclo productivo: Necesidades energía (NecUFL) UFL/día

1.
$$\text{NecUFL} = \text{NecUFL}_{\text{mant}} + \text{NecUFL}_{\text{crecimiento}} + \text{NecUFL}_{\text{PI}} + \text{NecUFL}_{\text{gest}}$$

- **Mantenimiento:** $\text{NecUFL}_{\text{mant}} = 0,0536 \times \text{Pv}^{0,75} \times \text{I}_{\text{act}}$
- Pv peso vivo en kg
- I_{act} índice de la actividad: estabulación trabada (0,95), estabulación libre (1), pastoreo en llano (1,1), pastoreo zonas montañosas o largas distancias (1,2), pastoreo montañas con altas pendientes (1,3).

El ciclo productivo: Necesidades energía (NecUFL) UFL/día

1.
$$\text{NecUFL} = \text{NecUFL}_{\text{mant}} + \text{NecUFL}_{\text{crecimiento}} + \text{NecUFL}_{\text{PI}} + \text{NecUFL}_{\text{gest}}$$

- **Crecimiento:** las necesidades de crecimiento son función de la **edad** (meses) en particular en vacas primíparas, y, en general, para vacas con menos de 40 meses.

$$\text{NecUFL}_{\text{crecimiento}} = 3,14 - (0,077 \times \text{edad})$$

El ciclo productivo: Necesidades energía (NecUFL) UFL/día

1.
$$\text{NecUFL} = \text{NecUFL}_{\text{mant}} + \text{NecUFL}_{\text{crecimiento}} + \text{NecUFL}_{\text{PI}} + \text{NecUFL}_{\text{gest}}$$

- **Producción de leche:**

$$\text{NecUFL}_{\text{PI}} = \text{PI} \times (0,42 + (0,0053 \times (\text{tg} - 40)) + (0,0032 \times (\text{tp} - 31)))$$

tg i tp en g/kg (tasas grasa y proteína)

- **Gestación:**

$$\text{NecUFL}_{\text{gest}} = 0,000695 \times \text{Pv}_{\text{ternero}} \times \exp^{(0,116 \times \text{sg})}$$

$\text{Pv}_{\text{ternero}}$ peso vivo del ternero al nacer

sg, semana de gestación

El ciclo productivo: necesidades proteína (NecPDI) g PDI/día

$$\text{NecPDI} = \text{NecPDI_no productivas} + \\ \text{NecPDI_crecimiento} + \text{NecPDI_PI} + \text{NecPDI_gest}$$

EfPDI: eficacia de uso de PDI, variable, función
del equilibrio **aportes/necesidades**

El ciclo productivo: necesidades proteína (NecPDI) g PDI/día

$$\text{NecPDI}_{\text{no productivas}} = \text{NecPDI}_{\text{PU}_{\text{endo}}} + \text{NecPDI}_{\text{P}_{\text{epidérmicas}}} + \text{NecPDI}_{\text{P}_{\text{EF}}}$$

- **NecPDI_{PU_{endo}}** proteínas endógenas *turn-over* corporal
0,312 x Pv; no dependen de la eficiencia proteica (*EfPDI*).
- **NecPDI_{P_{epidérmicas}}** proteínas producciones epidérmicas
(0,2 x Pv^{0,6})/EfpDI
- **NecPDI_{P_{EF}}** proteínas endógenas fecales
MSI x (5 x (0,57 + 0,0074 x MOND))/EfpDI
MSI es la materia seca ingerida
MOND es la materia orgánica no digestible.

El ciclo productivo: necesidades proteína (NecPDI) g PDI/día

NecPDI_crecimiento

- Si edad > 40, NecPDI_crecimiento = 0
- Si edad < 40, NecPDI_crecimiento

$$(270 - 6,66 \times \text{edad})/EfPDI$$

NecPDI_Pl, producción de leche

$$(Pl \times tp)/EfPDI, tp \text{ en g/kg}$$

NecPDI_gest, gestación

$$(0,0448 \times Pv_{\text{vedell}} \times \exp^{(0,111 \times sg)})/EfPDI$$

El ciclo productivo: necesidades proteína (NecPDI) g PDI/día

EfPDI

- El **balance energético** está ligado a la ingestión de energía (UFL x MSI), a la variación potencial de las reservas corporales (UFL_VPR_{pot}) y a las necesidades teóricas o potenciales calculadas:

$$\text{balUFL}_{\text{teórico}} = (\text{UFL} \times \text{MSI}) + \text{UFL_VPR}_{\text{pot}} - \text{NecUFL}_{\text{pot}}$$

- El **balance proteico**:

$$\text{balPDI}_{\text{teórico}} = (\text{PDI} \times \text{MSI}) + \text{PDI_VPR}_{\text{pot}} - \text{NecPDI}_{\text{pot}}$$

Esta respuesta permite calcular la producción de proteína de la leche, y, en consecuencia, la *EfPDI* en el seno de una ración.

Digestión proteínas en el intestino

- Interesa saber PDI

PDI = {**Proteínas alimentarias** digestibles, **Proteínas microbianas** digestibles}

dr digestibilidad real:

variable en Proteínas alimentarias

fija en Proteínas microbianas

Digestión proteínas en el intestino

Proteínas microbianas digestibles = 80% de $MNT_{\text{microbiana}}$ que llega al intestino ($41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times MOrD_{\text{rumen}} + 8,40 \times PCO$) y se considera que $dr = 80\%$

Proteínas microbianas digestibles = $MNT_{\text{microbiana}} \times 0,8 \times 0,8$

Proteínas alimentarias digestibles (es la PDIA o *by-pass digestible!*) = $MNT_{\text{ingerida}} \times (1 - DT_N) \times dr$

Digestión proteínas en el intestino

Proteínas alimentarias digestibles (es la PDIA o *bypass*) = $\frac{\text{MNT}_{\text{ingerida}} \times (1 - \text{DT N})}{dr}$

De la proteína no degradada e el rumen que llega al intestino una parte *no es digestible* y esa parte (INRA-2018) se predice:

La materia nitrogenada *no digestible* fecal está compuesta de materia nitrogenada *no digestible* (que es la que buscamos), de materia nitrogenada microbiana *no digestible* y fibra *no digestible*

Digestión proteínas en el intestino

Proteínas alimentarias digestibles (es la PDIA o *bypass*) = $\frac{MNT_{\text{ingerida}} \times (1 - DT \ N)}{\text{dr}}$

La materia nitrogenada *no digestible* fecal (MNND) está compuesta de materia nitrogenada alimentaria *no digestible* (que es la que buscamos), de materia nitrogenada microbiana *no digestible* y fibra *no digestible*

$$MNND = 26,9 + \frac{0,193 \times MNT_{\text{ingerida}} \times (1 - DT \ N)}{\text{dr}} + 0,106 \times MNT_{\text{microbiana}} + 0,022 \times NDFND$$

$\frac{0,193 \times MNT_{\text{ingerida}} \times (1 - DT \ N)}{\text{dr}}$ = PAND es la materia nitrogenada alimentaria *no digestible* i se determinará a través de la ecuación anterior (la denominamos PAND – proteína alimentaria *no digestible*), PIA = materia nitrogenada no fermentada en el rumen

Por tanto, $dr = (PIA - PAND)/PIA$

El ciclo productivo: Necesidades minerales

P _{abs} , g/d	Mantenimiento	$0,83 \times \text{MSI} + 0,002 \times \text{Pv}$
	Crecimiento, per kg d'Δ	$1,2 + 4,66 \times \text{Pv}_{\text{adulto}}^{0,22} \times \text{Pv}^{-0,22}$
	Gestación (último tercio)	$7,38 / (1 + \exp^{(19,1 - 5,46 \times \ln(40 - \text{sparto}))})$
	Lactación, por l leche	0,9
Ca _{abs} , g/d	Mantenimiento para el crecimiento	$0,663 \times \text{MSI} + 0,008 \times \text{Pv}$
	Mantenimiento para la gestación, sin lactación	$0,015 \times \text{Pv}$
	Mantenimiento para la lactación	$0,663 \times \text{MSI} + 0,008 \times \text{Pv}$
	Crecimiento, por kg de Δ	$9,83 \times \text{Pv}_{\text{adulto}}^{0,22} \times \text{Pv}^{-0,22}$
	Gestación (último tercio)	$23,5 / (1 + \exp^{(18,8 - 5,03 \times \ln(40 - \text{sparto}))})$
	Lactación, por l leche	1,25

Bovinos en general. Pv_{adulto} peso vivo adulto; Pv peso vivo; *sparto* semana parto

El ciclo productivo: Necesidades minerales

Mg _{abs} , g/d	Mantenimiento	0,011 x Pv
	Crecimiento, por kg de Δ	0,4
	Gestación (último tercio)	0,3
	Lactación, por l leche	0,15
K, g/d	Mantenimiento en lactación	0,115 x Pv
	Mantenimiento otros estados fisiológicos	0,07 x Pv
	Crecimiento, por kg de Δ	1,6
	Gestación (último tercio)	1
	Lactación, por l leche	1,5
Na, g/d	Mantenimiento para el crecimiento y la gestación	0,015 x Pv
	Mantenimiento para la lactación	0,023 x Pv
	Crecimiento, por kg de Δ	1,4
	Gestación (último tercio)	1,3
	Lactación, por l leche	0,45

Bovinos en general. Pv peso vivo

El ciclo productivo: Necesidades minerales

Cl, g/d	Mantenimiento para el crecimiento y la gestación	0,023 x Pv
	Mantenimiento para la lactación	0,035 x Pv
	Crecimiento, por kg de Δ	1
	Gestación (último tercio)	1
	Lactación, por l leche	0,15
S, g/d		2,0 x MSI
Co, mg/d		0,3 x MSI
Cu, mg/d		10 x MSI
I, mg/d	Lactación	0,5 a 0,8 x MSI
	Otros estados fisiológicos	0,4 a 0,5 x MSI
Mn, mg/d		50 x MSI
Se, mg/d	Según la producción lechera	0,1 a 0,2
Zn, mg/d		50 x MSI
Cr, mg/d		No recomendaciones
Mo, mg/d		No recomendaciones

Bovinos en general. Pv peso vivo; MSI kg MS ingerida

El ciclo productivo: Necesidades vitaminas

UI/kg MS		< 40% concentrado	> 40% concentrado
Vitamina A	Gestación	6.000	9.000
	Lactación	4.200	6.600
Vitamina D		1.000	1.000
Vitamina E	Gestación	25	
	Lactación	15	40

Vacas leche

El ciclo productivo: la capacidad de ingestión (CI, en UE)

$$CI = (14,25 + 0,015 \times (Pv - 600) + 0,11 \times PI(sI)_{pot} + (2,5 - CC_{sl})) \times I_{CI_{lact}} \times I_{CI_{gest}} \times I_{CI_{madurez}} \times I_{CI_{PDI}}$$

- $I_{CI_{lact}}$, índice efecto inicio lactación
 $a + (1 - a) \times (1 - \exp^{-0,25 \times sl})$
 $a = 0,6$ (primíparas); $a = 0,7$ (multíparas)
- $I_{CI_{gest}}$, índice efecto gestación
 $0,8 + 0,2 \times (1 - \exp^{-0,25 \times (40 - sg)})$
- $I_{CI_{maduresa}}$, índice efecto edad (madurez)
 $- 0,1 + 1,1 \times (1 - \exp(-0,08 \times edat))$,
- $I_{CI_{PDI}}$, índice específico contenido proteínas, basado en PDI/UFL en el seno de la ración
 $0,91 + 0,115 / (1 + \exp^{0,13 \times (90 - (PDI/UFL))})$

El ciclo productivo: la tasa de sustitución (Sg)

- Sabemos que el valor de repleción *encombrement* de un alimento concentrado está asociado a la **tasa de sustitución (Sg)** de manera que:

$$UEc = UEf \times Sg$$

UEc UE totales del concentrado en la ración

UEf UE totales de los forrajes en la ración

Sg es la cantidad de MS forrajera que desplaza la incorporación de un kg de concentrado, en una ración.

- La novedad es que Sg es función de un **valor basal de repleción *encombrement* del concentrado** que sólo tiene que ver con la repleción física, y se obtiene experimentalmente y se incorpora a las tablas (**bVEc**) sólo para leche, y se expresa en UE

El ciclo productivo: la tasa de sustitución (Sg)

$$Sg(PCO) = \left((S - S_0) \times \left[1 + \frac{1}{(9,5 \times PCO)} \times \ln \left(\frac{d \times EXP^{-9,5 \times (R_{pco} - PCO)} + 1}{d \times EXP^{9,5 \times R_{pco}} + 1} \right) \right] \right) + S_0$$

Sg(PCO) tasa de sustitución para una proporción de concentrado PCO en la ración

$S_0 = bVEc/UEf$; el valor mínimo S_0 corresponde al valor de repleción físico del concentrado

$S = UFLc/UFLf$; el valor máximo S corresponde a una sustitución energética de 1 UFL de forraje por 1 UFL de concentrado

$$d = (S - S_0) / (P_{\text{inflexión}} - S_0)$$

$$P_{\text{inflexión}} = 0,4 + 0,4 / (1 + \exp^{(0,15 \times (PDI/UFL) - 100)})$$

PDI/UFL es la relación entre los contenidos de la ración

R_{PCO} proporción teórica PCO necesaria para el equilibrio energético ración

El ciclo productivo: la tasa de sustitución (Sg)

Los cálculos de una ración, con respecto a la capacidad de ingestión, para cumplir con las necesidades energéticas y proteicas, comienzan con:

$$PCO = 0$$

Si con los forrajes sólo cumplen las necesidades $R_{PCO} = 0$

A partir de ahí, si no se cumplen, se va incorporando concentrado

$PCO > 0$ hasta llegar a un punto en que

$R_{PCO} = PCO$ y se cumplan las necesidades

Evidentemente, la incorporación de concentrados deprime la digestibilidad y se entra en múltiples iteraciones

El ciclo productivo: la tasa de sustitución (Sg) y cálculo del punto R_{PCO}

- $Sg(PCO) = \left((S - S_0) \times \left[1 + \frac{1}{(9,5 \times PCO)} \times \ln \left(\frac{d \times EXP^{(-9,5 \times (R_{pco} - PCO) + 1)}}{d \times EXP^{(9,5 \times R_{pco}) + 1}} \right) \right] \right) + S_0$
- El valor $Sg(R_{PCO})$ es, por tanto, un caso particular de $Sg(PCO)$
- $Sg(R_{pco}) = \left((S - S_0) \times \left[1 + \frac{1}{(9,5 \times R_{pco})} \times \ln \left(\frac{d+1}{d \times EXP^{(9,5 \times R_{pco}) + 1}} \right) \right] \right) + S_0$

Una vez llegado al punto de reencuentro, la ración tiene una tasa de sustitución global $Sg(PCO)$ dónde PCO es R_{PCO}

El valor de repleción de la cantidad de concentrado en la ración es $UEc = UEf \times Sg(PCO)$.

Para calcular la MSI (kg MS/día) la fórmula general del sistema de UE:

$$\mathbf{MSI = CI / (UEf \times (1 - PCO) + UEc \times PCO)}$$

El ciclo productivo: la tasa de sustitución (Sg) y cálculo del punto R_{PCO}

Para calcular la MSI (kg MS/día) la fórmula general del sistema de UE: **$MSI = CI / (UEf \times (1 - PCO) + UEc \times PCO)$**

Ejemplo:

$$CI = 18,89 \text{ UE}$$

$$UEf = 1,05 \text{ UE/kg MS}$$

$$PCO = R_{PCO} = 0,30 \text{ (30\% de la MS proviene de los concentrados)}$$

$$Sg (R_{PCO}) = 0,35 \text{ kg MSf/kg MSc}$$

$$UEc \text{ (aportes UE de los concentrados)} = UEf \times Sg = 1,05 \text{ UE/kg}$$

$$MSf \times 0,35 \text{ kg MSf/kg MSc} = 0,3675 \text{ UE/kg MSc}$$

$$MSI = 18,89 / (1,05 \times (1 - 0,30) + 0,3675 \times 0,30) = 22,35 \text{ kg MS}$$

Interacciones digestivas sobre la digestibilidad de la MO

- Hasta ahora empleábamos la depresión de la digestibilidad, que era función de la proporción de concentrados en la ración (PCO) y de las necesidades UFL del animal (Mantenimiento y producción).
- En el nuevo sistema se intenta cuantificar los principales factores que dan lugar a las interacciones digestivas. La dMO es el mejor criterio para conocer las interacciones.

Interacciones digestivas sobre la dMO

Las interacciones tienen lugar, principalmente, en el rumen, y las causas:

Si el **nivel de ingestión** (NI) es alto, la velocidad de paso es alta, el tiempo de permanencia se acorta y, por tanto, la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos es menor.

Si la **proporción de concentrados** (PCO) es alta, baja el pH ruminal y se inhiben los microorganismos que degradan la celulosa.

La **disponibilidad de N** en el rumen, que es balance proteico del rumen (BPR), cambia la actividad microbiana.

Interacciones digestivas: Nivel de ingestión (NI)

• Hierba de referencia:

- 150 g MNT
- 250 g FB
- 280 g ADF
- 350 g NDF
- dMO = 0,77 (valorada en el cordero de referencia)

• Cordero de referencia

- 1,5 a 4 años
- Pv 60 kg (40 a 75)
- CI = 1,62 UEM
- NI = 2,7% del Pv

MSVIm = 75 g MS/kg $P^{0,75}$; para cualquier otro forraje se determina su ingestión MSVIm y el valor UEM = 75/MSVIm

Interacciones digestivas: Nivel de ingestión (NI)

- Per a cada ingredient NI_{ref} nivell d'ingestió de referència (és la MS ingerida com a % Pes viu)
- NI_{ref} i UEM estan relacionats. NI_{ref} és una manera de caracteritzar un aliment, i aquest valor s'empra a vaques i altres bovins
- Exemple:
 - Si $MSVI_m = 82,52$ g MS de raigràs per kg pes metabòlic
 - $NI_{ref} = 82,52 \times 60^{0,75} / 60 / 10 = 2,96$ % pes viu (no metabòlic)
- Per al blat de moro, en verd o ensitjat, $NI_{ref} = 1,4\%$ del pes viu.
- Els concentrats tenen, tots, $NI_{ref} = 2$ %

Interacciones digestivas: Nivel de ingestión (NI)

dMO_m es la digestibilidad de la materia orgánica de una ración, medida in vivo, e intra-experiencias se obtiene:

$$dMO_m = 76 - 2,74 \times NI$$

NI es el nivel de ingestión de la ración, en % del peso vivo.

La ración (combinación de forrajes y concentrados) tendrá un valor **NI_{ref}** igual a suma producto de las cantidades de cada ingrediente y los respectivos valores NI_{ref}

La vaca de Pv comerá MSI en kg de esta ración, que expresado sobre el Pv es el **NI = MSI x 100/Pv** (% del peso vivo)

La diferencia entre el calculado y el real es la interacción sobre la dMO:

$\Delta dMO_{NI} = - 2,74 \times (NI - NI_{ref})/100$ (valor que *suma o resta* a la **dMO** (valor que calculamos por la suma producto cantidades ingredientes y valores dMO de tablas)

Interacciones digestivas: Proporción de concentrados en la ración (PCO)

- Experimentalmente el efecto de PCO sobre la dMO de la ración se expresa así:

$$\Delta dMO_CO = - 6,5 / (1 + (0,35/PCO)^3) / 100$$

(Valor que *suma o resta* a la dMO)

Interacciones digestivas: Balance proteico en el rumen (BPR)

En el sistema INRA 1978-2007 disponibilidad N y la actividad microbiana se cuantificaba con PDIN y PDIE, ahora en INRA-2018, es el balance proteico del rumen (BPR):

$$\text{BPR} = \text{MNT}_{\text{ingerida}} - \text{MNT}(\text{no amoniacals})_{\text{duodè}} \text{ en g/kg MS}$$

$$\text{MNT}(\text{no amoniacales})_{\text{duodeno}} = \text{MNT}_{\text{ingerida}} \text{ no degradada} + \text{MNT}_{\text{microbiana}} + \text{MNT}_{\text{endógena}}$$

BPR indica: síntesis proteica microbiana a partir de la MNT permitida por MOF en el rumen.

Anteriormente utilizábamos un índice (PDIN - PDIE)/UFL.

Ahora BPR es aditivo y medible, y es un criterio pertinente no sólo para evaluar el equilibrio entre N degradable y energía disponible en el rumen, sino también para integrar los efectos cuantitativos de las interacciones energía x nitrógeno en los procesos digestivos, así como el crecimiento microbiano. También se emplea para predecir las pérdidas urinarias de N.

Interacciones digestivas: Balance proteico en el rumen (BPR)

$$\text{MNT}(\text{no amoniacales})_{\text{duodeno}} = \text{MNT}_{\text{ingerida no degradadas}} + \text{MNT}_{\text{microbiana}} + \text{MNT}_{\text{endógena}}$$

$$\text{MNT}_{\text{ingerida no degradada}} = \text{MNT}_{\text{ingerida}} \times (1 - \text{DT_N})$$

DT_N, degradabilidad de las proteínas, es un valor experimental para cada ingrediente (está en las tablas), y, por tanto, sabemos DT_N de la ración

$$\text{MNT}_{\text{microbiana}} = 41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times \text{MOrD_rumen} + 8,40 \times \text{PCO}$$

MOrD_rumen, es la materia orgánica digestible en el rumen, o sea la MOF, la materia orgánica fermentescible; valor que se obtiene de la composición de la ración (cada ingrediente tiene su valor)

$$\text{MNT}_{\text{endógena}} = 14,20 \text{ (valor fijo)}$$

Interacciones digestivas: Balance proteico en el rumen (BPR)

$$\mathbf{BPR} = \text{MNT}_{\text{ingerida}} - \mathbf{\text{MNT(no amoniacales)}_{\text{duodeno}}}$$
 en g/kg MS

La ración formulada tendrá un valor BPR_{ref} (cada ingrediente viene caracterizado por su valor BPR en las tablas)

La interacción de la BPR sobre la dMO:

$$\Delta \mathbf{dMO_BPR} = 0,060 \times (\mathbf{BPR} - \text{BPR}_{\text{ref}})/100$$

(Valor que *suma o resta* a la dMO)

Interacciones digestivas

Las tres interacciones se añaden a la dMO (calculada por la suma producto de las cantidades de cada ingrediente por su dMO, de tablas)

La digestibilidad de la materia orgánica de la ración se denomina digestibilidad corregida dMOc

$$dMOc = dMO + (\Delta dMO_{NI} + \Delta dMO_{CO} + \Delta dMO_{BPR})$$

La ecuación de restricción energética del planteamiento de la ración sería la siguiente, sin interacciones, suma producto de cantidades de cada ingrediente por su valor UFL igual a necesidades :

$$\sum_i X_i \times UFL_i = NecUFL$$

Si consideramos las interacciones, las necesidades van cambiando en el seno de la ración:

$$\sum_i X_i \times UFL_i = NecUFL \times (dMO / dMOc)$$

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

- Antes INRA-2018:
- Las necesidades de mantenimiento PDI eran $f(P_v)$, no integraban las variaciones de las pérdidas de N no productivas asociadas a los cambios en las aportaciones.
- Las necesidades productivas PDI se calculaban a una *EfPDI* constante (0,64).

Se subestimaban

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*): Funciones no productivas

- *Pérdidas endógenas (proteínas endógenas fecales (P_{EF}))*
- *Pérdidas N urinario ($NU_{endógeno}$)*
- *Pérdidas epidérmicas ($P_{epidérmicas}$)*

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*) Funciones no productivas (*proteínas endógenas fecales: P_{EF}*)

- Intra-experiencias, a nivel fecal la materia nitrogenada no digestible (MNND) es igual a

$$0,163 \times \text{MNT}_{\text{ingerida no degradada}} + 0,20 \times \text{MNT}_{\text{microbiana}} + 5,7 + 0,074 \times \text{MOND}$$

MNT_{ingerida no degradada} (medidas nivel fecal, integran 14,2 g MNT_{endógena}/kg MS)

MNT_{microbiana} (se supone un 20% a heces)

MOND, materia orgánica medida a nivel fecal

A partir de aquí se pueden determinar las pérdidas de P_{EF}

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

Funciones no productivas (*proteínas endógenas fecales: P_{EF}*)

- $P_{EF} = 5,7 + 0,074 \times \text{MOND}$

INRA-2018 considera $[\text{AA}]_{P_{EF}} = 50\%$

$$\text{NecPDI}_{P_{EF}} = \text{MSI} \times [0,5 \times (5,7 + 0,074 \times \text{MOND})] / \text{EfPDI}$$

Les necesidades aumentan con la ingestión (MSI) y cuando la cantidad del régimen alimentario (MOD) y la eficacia disminuyen.

Si $\text{EfPDI} = 0,67$ $\text{NecPDI}_{P_{EF}} = 19,8 \pm 3,7$ g/kg MS

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*) Funciones no productivas (*Pérdidas N urinario, $NU_{endógeno}$*)

Varias aproximaciones

1. $\log_{10} NU = -1,17 + 1,00 \times \log_{10} Pv$

NU, nitrógeno urinario

Esta ecuación nos lleva a $NU = 0,067 \times Pv$

2. $NU = 0,063 + 0,317 \times ND_{ingerido}$

$ND_{ingerido}$ nitrógeno aparentemente digestible

La intersección de la ordenada con el origen de esta ecuación es $\approx 0,067$ g/kg Pv

En todo caso NU integra una parte de N no proteico de origen microbiano ($N_{microbiano} \times 0,116 \times 0,8 \times 0,85$) que debería restársele.

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

Funciones no productivas (*Pérdidas N urinario, $NU_{endógeno}$*)

La contribución del N no proteico de origen microbiano al N urinario se obtiene (base datos):

$$\frac{NU \text{ no proteico microbiano}}{NU} = \frac{0,3325}{\left(1 + \left(\frac{NU}{0,203}\right)\right)}$$

Si $NU = 0,067$ g/día/kg Pv, $\frac{NU \text{ no proteico microbiano}}{NU} = 0,25$

Las *Pérdidas N urinario: $NU_{endógeno} = 0,067 \times (1-0,25) \times Pv$*

Las necesidades: **$NecPDI_NU_{endógeno} = 0,312 \times Pv$**

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

Funciones no productivas (*Pérdidas epidérmicas, P_{epidérmicas}*)

Les pérdidas epidérmicas de N son como máximo el 5% de las pérdidas de las funciones no productivas, aún así *EfPDI es variable*

$$\text{NecPDI}_{P_{\text{epidérmicas}}} = 0,2 \times P_v^{0,6} / \text{EfPDI}$$

$$\text{NecPDI}_{\text{no productivas}} = \text{NecPDI}_{P_{\text{EF}}} + \text{NecPDI}_{\text{NU}_{\text{endógeno}}} + \text{NecPDI}_{P_{\text{epidérmicas}}}$$

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

Funciones productivas

EfPDI = \sum funciones proteicas productivas y no productivas/PDI disponible

PDI disponible = PDI ingerida - **NecPDI_NU**_{endógeno}

(las *NecPDI_NU*_{endógeno} no dependen de la eficacia de uso)

EfPDI = 0,67 es un parámetro pivot para calcular las respuestas marginales de producción de proteína al suministro de PDI.

Estudios interpretativos, factoriales, etc., llevan a que *EfPDI* está correlacionada con la $[PDI]_{\text{ración}}$

Los métodos de cálculo de *EfPDI* se han comparado (estadísticamente) al ajuste exponencial entre *EfPDI* i $[PDI]_{\text{ración}}$

$$EfPDI = EfPDI_{100} \times \exp^{-b \times (PDI-100)}$$

*EfPDI*₁₀₀ es la eficacia cuando PDI=100

Vacas lecheras: *EfPDI* = 0,67 x $\exp^{-0,007 \times (PDI-100)}$

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

Funciones productivas

Cálculo directo de la EfPDI = Σ funciones proteicas / Σ (PDI ingerida - NecPDI_NU_{endógeno})

1. Si balance energético del efecto de la ración > 0 → las proteínas se filan y el balance proteico es un gasto proteico

$$EfPDI = (P_{EF} + P_{epidérmicas} + MP + \text{Balance Proteico}) / (PDI_{ingerida} - NecPDI_NU_{endógeno})$$

2. Si balance energético < 0 → el balance proteico se considera como una aportación de proteínas y el valor absoluto del balance proteico se ajusta a PDI_{ingerida}

$$EfPDI = (P_{EF} + P_{epidérmicas} + MP) / (PDI_{ingerida} + |\text{balance proteico}| - NecPDI_NU_{endógeno})$$

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

Ejemplo

Producción leche	34,91	
Necesidades en UFL calculadas	23,85	
Variación a causa de la condición corporal UFL_VPR	-0,51	
Aportación UFL ración final	27,82	
Balance energético = Aportaciones + Variación - Necesidades	3,45	<i>27,82-0,51-23,85</i>
Necesidades en PDI calculadas	2.391,53	
Variación a causa de la condición corporal PDI_VPR	-16,96	
Aportación PDI ración final	2.667,95	
Balance proteico = Aportaciones + Variación - Necesidades	259,46	<i>2.667,95-16,96+2.391,53</i>
Producción MP = producción leche x 31	1.082,11	<i>34,91x 31</i>
PEF (proteínas endógenas fecales) = 5,7 + 0,074 x MOND	8,65	<i>De la ración calculada</i>
P epidérmicas (0,2 g PDI/kg Pv0,60)	9,74	<i>De la ración calculada</i>
NecPDI_NU endo	202,8	
PDI ingeridas - NecPDI_NU_endo	2.465,15	
$EfPDI = (PEF + P\text{epidérmicas} + MP + \text{Balance Proteico}) / (PDI\text{ingerida} - NecPDI_NU\text{endógenas})$	0,55	<i>(8,65+9,74+1.082,11+259,46)/2.465,15</i>

Eficacia metabólica proteínas (*EfPDI*)

Ejemplo

Se partía de unas necesidades para producir 34,91 kg de leche (4%, 3,1%), calculadas en el caso de PDI con una *EfPDI* = 0,67 y se llega a *EfPDI* = 0,55, ya que la elevada producción obliga a aumentar PCO hasta el 50%, y como se ve las necesidades cambian

NecUFL 23,85 ► 27,82

NecPDI 2.391,53 ► 2.667,95

Ración final

ENSILADO maíz vítreo 35,571

Heno Alfalfa Botones florales 1,438

PAJA Cebada 0,816

Cebada grano 1,493

Maíz grano 4,682

Soja turtó 48 curtido "tanne" 5,991

Mandioca 1,500

Cebada bagazo cervecería seco 1,075

Levadura cervecería 0,306

Grasa vegetal (todos los tipos) 0,048

Respuestas al aumento de concentrado en la ración

Para una ración formulada:

La respuesta media intra-experiencias de la MSI total a la aportación de concentrado, expresado en relación al punto de encuentro de la ración es (Δ MSIc kg concentrado por encima del equilibrio de la ración):

$$\text{resp_MSI} = 0,452 \times \Delta\text{MSIc} - 0,020 \times \Delta\text{MSIc}^2$$

Y las respuestas de la producción de leche y de sus constituyentes a la aportación de concentrado, expresado en relación al mismo punto de encuentro son:

$$\text{resp_PI} = 0,527 \times \Delta\text{MSIc} - 0,0137 \times \Delta\text{MSIc}^2$$

$$\text{resp_tp} = 0,167 \times \Delta\text{MSIc} - 0,0043 \times \Delta\text{MSIc}^2$$

$$\text{resp_tg} = 0,50 \times \Delta\text{MSIc} - 0,037 \times \Delta\text{MSIc}^2$$

La ración i el Nitrógeno urinario y el fecal

Una parte de la excreción de N urinario (20-30%) es de origen endógeno, aún así, las principales variaciones en la excreción total de N urinario (NU g/día/kg Pv) están ligadas a procesos digestivos y metabólicos:

$$\text{NU}_{\text{calculado}} = \alpha \text{BPR}/6,25 + \text{PDI}/6,25 \times (1 - \text{EfPDI}) + \text{NU}_{\text{endógeno}} + \text{NUNP}_{\text{microbiano}} + 0,47 \times \text{Balance proteico}$$

- NU en g N/día/kg Pv
- $\text{BPR}/6,25$ es el N del BPR i $\alpha < 1$ es la proporción de N del BPR medido que se pierde a través del NU
- $\text{PDI}/6,25 \times (1 - \text{EfPDI})$ es el N que resulta de la ineficacia de la PDI para las funciones de proteosíntesis (pérdidas fecales endógenas, síntesis de proteínas de la leche o de los tejidos, balance proteico corporal)
- $\text{Nu}_{\text{endógeno}}$ es el N urinario endógeno (igual a $0,312 \times \text{Pv}$)
- $\text{NUNP}_{\text{microbiano}}$ es el N urinario procedente del N no proteico microbiano (igual a $\text{N}_{\text{microbiano}} \times 0,116 \times 0,8 \times 0,85$)
- $0,47 \times \text{Balance proteico}$, se supone que el balance de N sobreestima la retención de N en un 53%.

La Ración i el Nitrógeno urinario y el fecal

El valor NU de la ración y el rango de contaminación en el medio:

Zonas de exceso $NU > 0,30$ g N/día/kg Pv

Zonas de fuerte exceso $NU > 0,40$

Bajo $NU < 0,20$

Carencia importante $NU < 0,15$

Zona de recomendación $0,20 < NU < 0,30$

La Ración y el Nitrógeno urinario y el fecal

La proporción de N fecal, o N no digestible, es relativamente constante cuando se expresa en relación a la MSI, y es de **8,42 ± 2,02 g N/kg MSI**.

0,037 moles C/g (MO – MNT_{fecal})

0,045 moles C/g MNT_{fecal}

0,0114 moles N/g MNT_{fecal}

Relación carbono/nitrógeno de la materia fecal:

C/N = 14,2 + 52,7 x EXP^(-0,014 x MNT) – 3,76 x PCO

15 <= C/N <= 25 normal, C/N < 15 hay exceso N fecal

El metano y la vaca de leche

$$\text{CH}_4/\text{MOD} = 45,42 - 6,66 \times \text{NI} + 0,75 \times \text{NI}^2 + 19,65 \times \text{PCO} - 35,0 \times \text{PCO}^2 - 2,69 \times \text{NI} \times \text{PCO}$$

La normalidad está entre 25 y 43 de CH₄/MOD

Esta ecuación refleja que más allá del efecto de la MOD, las emisiones de metano están igualmente impactadas por las interacciones digestivas debidas al nivel de ingestión (NI) y a la proporción de concentrados (PCO)

Predicción emisión de metano:

$$\text{CH}_4 = \text{MSI} \times 0,001 \times \text{MOD} \times (\text{CH}_4/\text{MOD})$$

La grasa añadida y el metano

$$\Delta\text{CH}_4/\text{MS} = - 0,075 \times \Delta\text{EE}$$

$\Delta\text{CH}_4/\text{MS}$ es la variación de las emisiones de metano en g/kg MS al incremento de la grasa. En la práctica la ración no debe contener más de 50 a 60 g EE/kg MS para evitar el efecto negativo de los lípidos sobre la digestión.