

Grup de remugants "Ramon Trias"

Bases teóricas del Racionamiento alimentario de vacas lecheras

Basado en INRA-2018

Antoni Seguí Parpal
1 de marzo de 2020

PRINCIPIOS DEL RACIONAMIENTO

Con el fin de no desvirtuar los conceptos, en este documento indicaremos las transcripciones del propio libro traducidas, y las pondremos en cursiva.

Como hemos venido diciendo, contrariamente a la creencia de que tienen que alimentar a las vacas según su potencial genética, INRA dice: *No siempre es posible o deseable satisfacer la totalidad de las necesidades según las características o el potencial animal; puede ser preferible alimentar rumiantes con una ración de composición determinada o predeterminada y evaluar las consecuencias sobre los resultados.*

De este modo, como se hace en la práctica habitual en vacas de cría, que en invierno, según Trias, "leen el diario" y adelgazan hasta que salen al prado, en las vacas de leche también se deben aprovechar las movilizaciones de las reservas corporales. La condición corporal toma, por tanto, protagonismo en todo el racionamiento, y durante el ciclo productivo anual el racionamiento se adapta a la movilización y a la reconstitución de las reservas corporales (sistema acordeón), tanto en energía como en proteína, de tal manera que el cálculo de la ración debe prever las capacidades de adaptación del animal y prever las respuestas asociadas.

INRA-2018 dice que las etapas de la formulación de la ración son:

1. Prever las necesidades nutritivas y la CI de los animales según sus características
2. Determinar el valor alimenticio del conjunto de alimentos disponibles
3. Calcular las cantidades ingeridas de cada alimento de la ración y el valor nutritivo de la ración integrando los efectos de las interacciones digestivas
4. Prever las producciones de los animales
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 principio clave del racionamiento es la valorización del forraje, o de la ración forrajera, y que los concentrados complementen los aportes nutritivos de los forrajes. En todos los casos el objetivo es satisfacer la capacidad de ingestión.

Para los rumiantes en estabulación, si se distribuye un forraje o una mezcla de forrajes *ad libitum*, la ingestión total de MS queda maximizada aceptando un rechazo diario entre el 5 y 10% del suministro.

Si hay varios forrajes no mezclados es imposible prever la elección que el animal haga de cada uno de ellos, y en este caso se considera un solo forraje *ad libitum* y el resto se consideran en cantidades fijas y totalmente ingeridos. Y a la inversa, cuando se distribuyen mezclados se considera un solo forraje que tendrá un valor nutritivo igual a la media ponderada.

Para facilitar la comprensión ponemos el significado de las abreviaturas que empleamos, y que, en gran parte, son las del INRA ya que creemos mejor respetar la nomenclatura INRA.

ABREVIATURAS Y SIGNIFICADO

AADI, aminoácidos digestibles en el intestino
ADF, fibra ácido detergente
AGD_int, ácidos grasos digestibles en el intestino
AmiD-int, almidón digestible en el intestino
balPDI, balance proteico de una ración

balUFL, balance energético de una ración
BPR, balance proteico en el rumen
bVEc, valor basal de *encombrement* concentrado
CCpart, condición corporal al parto, de 0 a 5
CI, capacidad de ingestión en UE
dCs, digestibilidad enzimática pepsina-celulasa
dE, digestibilidad energía
dMO, digestibilidad de la materia orgánica
dMO, digestibilidad de la MO
dr_N, digestibilidad real de las proteínas
DT_N, degradabilidad de las proteínas en el rumen
EB, energía sucia
ED, energía digestible
EE, extracto etéreo (materia grasa total)
EfPDI, eficiencia o eficacia de uso de las proteínas en las funciones de producción
EM, energía metabolizable
Emitir, energía que se pierde en forma de metano
ENL, energía neta leche
ENmant y carne, energía neta carne
Eorina, energía que se pierde por la orina
FB, fibra bruta
I_Clgest, índice efecto gestación a la CI
I_CIlact, índice efecto lactación en la CI
I_CImaduresa, índice efecto edad (madurez) en la CI
I_CIPDI, índice específico contenido proteínas en la CI, basado en PDI/UFL
Mg, materia grasa total en la leche
MN alim_intestino, es la proteína que proviene del alimento y no se ha degradado en el rumen
MN endogena_intestino, es la proteína endógena que llega al intestino
MN microbiana_intestino, es la proteína microbiana formada en el rumen que llega al intestino
MNT, materia nitrogenada total o proteína bruta
MOD, materia orgánica digestible
MOF, materia orgánica fermentescible
Mp, materia proteica total en la leche
MS, materia seca
MSVIb, materia seca voluntariamente ingerida (vacuno)
MSVII, materia seca voluntariamente ingerida (vacas leche)
MSVIo, materia seca voluntariamente ingerida (ovino)
NDF, fibra neutra detergente
NDFD_int, NDF digestible en el intestino
NecCa_{abs}, necesidades en Ca absorbible
NecMg_{abs}, necesidades en Mg absorbible
NecP_{abs}, necesidades en P absorbible
NecPDI, necesidades en PDI
NecPDI_crecimiento, necesidades de crecimiento en PDI
NecPDI_gest, necesidades de gestación en PDI
NecPDI_no productivas, necesidades no productivas en PDI
NecPDI_PEF, necesidades en proteínas endógenas fecales en PDI
NecPDI_Pepidérmicas, necesidades epidérmicas en PDI
NecPDI_PI, necesidades de producción de leche en PDI
NecPDI_PUendo, necesidades para los cambios corporales en PDI
NecUFL, necesidades en UFL
NecUFL_crecimiento, necesidades de crecimiento en UFL
NecUFL_gest, necesidades de gestación en UFL

NecUFL_mant, necesidades de mantenimiento en UFL
NecUFL_PI, necesidades de producción de leche en UFL
NI, nivel de ingestión, % sobre peso vivo
NIref, nivel de ingestión de referencia, % sobre peso vivo, referido al cordero de referencia
NU_{calculado}, nitrógeno urinario
PDI, proteína digestible en el intestino
PDI_ut, necesidades en PDI asociadas a la involución uterina
PDI_VPRpot, variación potencial de reservas en g PDI/día
PDIA, proteína digestible en el intestino que proviene del alimento
PDI_{disp}, PDI disponible para cubrir necesidades productivas y no productivas
PDIE, proteína digestible en el intestino según contenido energético para la síntesis microbiana en el rumen
PDI_{ing}, PDI ingerida
PDIM, proteína digestible en el intestino que proviene de los microbios (rumen)
PDIN, proteína digestible en el intestino según contenido N para la síntesis microbiana en el rumen
PF, productos de la fermentación en los ensilados
PI_{pic}, producción en el pico de la lactación
PI_{pot}, producción de leche potencial
PI_{pot_305}, producción de leche de una vaca a 305 días de lactación
PI_{pot_mult}, producción potencial de leche por día en una determinada semana de lactación, múltiparas
PI_{pot_prim}, producción potencial de leche por día en una determinada semana de lactación, primíparas
sg, semana de gestación
Sg, tasa de sustitución global forraje concentrado
sl, semana de lactación
tg, tasa de grasa en % o en g/kg
tp, tasa de proteína en % o en g/kg
UE, unidad de hartazgo o repleción (*encombremet*)
UEB, unidad de hartazgo o repleción (*encombremet*) bovinos
UEC, unidades de *encombremet* concentrado
UEF, unidades de *encombremet* forraje
UEL, unidad de hartazgo o repleción (*encombremet*) leche
UEM, unidad de hartazgo o repleción (*encombremet*) corderos (*moutons*)
UFL, unidad forrajera leche
UFL_VPRpot, variación potencial de reservas en UFL/día
UFV, unidad forrajera carne (*viande*)
 Δ dMO_BPR, es la variación en la dMO debido al balance proteico en el rumen de la ración
 Δ dMO_CO, es la variación en la dMO debido a la proporción de concentrados en la ración
 Δ dMO_NI, es la variación en la dMO debido al nivel de ingestión de la ración

LA PRODUCCIÓN DE LECHE POTENCIAL Y LA VARIACIÓN DE LAS RESERVAS CORPORALES

PRODUCCIÓN DE LECHE DURANTE EL CICLO PRODUCTIVO ANUAL

La producción de leche depende de la capacidad de la glándula mamaria y de los nutrientes disponibles. La glándula se forma y durante el ciclo gestación-lactación desarrolla su tejido secretor, de ahí la importancia de mantener un periodo de secado para la reorganización. La síntesis de leche depende de la disponibilidad de nutrientes provenientes de los alimentos y eventualmente complementados por la movilización de las reservas corporales.

La producción potencial de leche (PIpot) sirve para planificar el racionamiento, y la real (PI) nos sirve para hacer un buen seguimiento de la ración.

PIpot = f (potencial genético, número de lactación, estado lactación, estado gestación) + f (condiciones del lugar)

La producción máxima dentro de una lactación (PIpic) la podemos estimar a partir del control lechero:

Producción a 305 días (PIpot_305)

Tasa de grasa media de la lactación (tg), g/kg

Tasa de proteína promedio de la lactación (tp), g/kg

El cálculo de la producción prevista en el pico:

$PI_{pic} = PI_{pot_305} \times (1 + 0,0055 \times (tg - 40) + 0,0033 \times (tp - 31)) / 260$ en primíparas

$PI_{pic} = PI_{pot_305} \times (1 + 0,0055 \times (tg - 40) + 0,0033 \times (tp - 31)) / 230$ en múltiparas

A partir de aquí podremos calcular la producción potencial a cualquier semana de la lactación, producción que servirá para planificar el racionamiento; PIpot_prim producción de leche en primíparas prevista en la semana de lactación sl; PIpot_mult producción de leche en múltiparas prevista en la semana de lactación sl; sg es la semana de gestación.

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

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

La semana de gestación la podemos calcular a partir de la semana de fecundación slfecundación

$sg = (sl + 1) - sl_{fecundación}$

La producción potencial diaria a la semana de lactación sl para los cálculos está expresada a 4% de tg y en 3,1% de tp.

Para cada semana de lactación se pueden prever también las tasas de grasa y de proteína, así como la materia grasa y la materia proteica totales, siendo tgm_pot la tasa de grasa media de la lactación y tpm_pot la tasa de proteína promedio de la explotación:

$tg_{pot} = tgm_{pot} \times (0,87 + (0,52 \times \exp^{-0,62 \times sl}) + (0,005 \times sl))$

$tp_{pot} = tpm_{pot} \times (0,9 + (0,60 \times \exp^{-0,78 \times sl}) + (0,006 \times sl))$

$Mg_{pot} = tg_{pot} \times PI_{pot_mult}$ (o PI_{pot_prim})

$Mp_{pot} = tp_{pot} \times PI_{pot_mult}$ (o PI_{pot_prim})

VARIACIÓN DE LAS RESERVAS CORPORALES

Inicio lactación: el flujo metabólico aumenta debido a la movilización de las reservas con el fin de suministrar nutrientes a la glándula mamaria para la síntesis de leche (energía y también proteínas).

A partir de los tres meses de lactación: restauración progresiva de las reservas corporales, con el objetivo de que en el parto haya recuperado el estado de condición corporal.

Este ciclo de movilización y recuperación se integrará al racionamiento de vacas de leche, no sólo en las vacas de cría.

Movilización total tres primeros meses de lactación: la aportación de energía es de 100 a más de 400 UFL y lo expresamos así, **UFL_VPRpot**, es la variación potencial de reservas y se integra en la diferencia entre las necesidades a partir de Pl_{pot} y las aportaciones de la ración. **UFL_VPRpot** se calcula a partir de la condición corporal al parto, estimando la condición corporal a la semana de lactación para la que racionar o bien determinamos la producción de leche potencial. En el posparto hay movilización de reservas y, más allá del pico hay reconstitución de reservas.

El modelo considera que la amplitud de la movilización aumenta con la Pl_{pico} y la condición corporal al parto CC_{parto} . La condición corporal va de 0 a 5.

Si $CC_{parto} < 1,5$ no hay movilización y **UFL_VPRpot** = 0. El modelo está construido de manera que la integral sobre el conjunto del ciclo (52 semanas) sea igual a 0. Las cantidades de energía movilizada tras su reconstitución son idénticas.

El parámetro **A** varía según la paridad, y significa o caracteriza la intensidad de la variación de las reservas corporales, y el **B** modula la duración de la fase de movilización, siendo una función inversa de la nota de la condición corporal al parto.

$$A = -9,5 + 0,4 \times Pl_{pico} + 1,89 \times CC_{parto} \text{ (primíparas); } A = -13,2 + 0,4 \times Pl_{pico} + 1,89 \times CC_{parto} \text{ (multíparas)}$$

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

K (parámetro que sirve para obtener un valor nulo de la integral de **UFL_VPRpot** durante las N semanas de lactación (que fijamos en 52))

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

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

Por otra parte, las variaciones potenciales de proteína se asocian a las variaciones de energía, aproximadamente hay una variación de 33 g PDI/UFL y una suplementación en las dos primeras semanas de lactación asociadas a la involución uterina (PDI_{ut}), de modo que la variación potencial de proteína en la semana de lactación sl especificada en la variación energética **PDI_VPRpot** será así:

$$PDI_VPR_{pot} = PDI_{ut} + 33 \times UFL_VPR_{pot}$$

PDI_{ut} igual a 100 g PDI/día en la primera semana i 50 g PDI/día en la segunda semana de lactación.

EJEMPLOS:

Para el cálculo de las necesidades los datos siguientes son necesarios.

Para una vaca de 56 meses de edad, 700 kg peso vivo, con peso aproximado de los terneros al nacer de 42 kg, $Pl_{pot_305} = 9.200$ kg, $tg_{media} = 3,9\%$, $tp_{media} = 3,3\%$, con una condición corporal al parto $CC_{parto} = 3$.

Primer ejemplo, la vaca se encuentra en la segunda semana de lactación:

La producción máxima potencial diaria al 4% tg y 3,1% tp ($Pl_{pico} = 40,04$ kg)

La producción diaria al 4% tg y 3,1% tp en la semana de lactación $sl = 2$ ($Pl_{pot_mult} = 37,19$ kg)

La variación de energía debido a la movilización/reconstitución será:

UFL_VPRpot = 4,32 UFL/día, y la variación proteica será:

PDI_VPRpot = 192,69 g PDI/día

Esto significa que la vaca aporta diariamente 4,32 UFL y 192,69 g PDI.

Segundo ejemplo, la vaca se encuentra en la 25 semana de lactación, y se fecundó en la 13 semana de lactación.

La semana gestación (sg) calculada será la 13.

La producción diaria al 4% tg y 3,1% tp en la semana de lactación sl = 25 (Plpot_mult = 28,81 kg)

La variación de energía debido a la movilización/reconstitución será:

UFL_VPRpot = - 0,49 UFL/día, y la variación proteica será:

PDI_VPRpot = -16,06 g PDI / día

Esto significa que la vaca necesita diariamente para reconstruir 0,49 UFL y 16,06 g PDI.

EVOLUCIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL

La capacidad de ingestión de la vaca está ligada, diariamente, durante cada semana de lactación al peso vivo de la vaca adulta, la producción diaria durante la semana y en la condición corporal determinada/calculada para esta semana de lactación.

La CCpot en la semana de lactación sl será igual a:

$$CC_{pot}(sl) = CC_{parto} - (7/206) \times ((A/B) - K \times sl + (A/(1 - B))) \times ((\exp^{(-sl)} - \exp^{(-B \times sl)})/B)$$

En el ejemplo y para la segunda semana de lactación $CC_{pot} = 2,78$

Y en la semana 25 $CC_{pot} = 2,55$.

1 punto CC moviliza o reconstituye 206 UFL

NECESIDADES

ENERGÍA

Las necesidades en energía (NecUFL) totales por día, en UFL, son la suma de las siguientes partes:

$$NecUFL = NecUFL_{mant} + NecUFL_{crecimiento} + NecUFL_{PI} + NecUFL_{gest}$$

Mantenimiento: $NecUFL_{mant} = 0,0536 \times Pv^{0,75} \times I_{act}$

Pv es el peso vivo en kg

I_{act} es un índice de la actividad de la vaca: estabulación trabada (0,95), estabulación libre (1), pasto llano (1,1), pasto zonas montañosas o largas distancias (1,2), pasto montañas con pendientes altas (1,3).

Crecimiento: $NecUFL_{crecimiento}$ son función de la edad (meses) en particular en vacas primíparas y, en general, para vacas con menos de 40 meses.

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

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

tg y tp en g/kg

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

PROTEÍNAS

Para vacas que producen PI_{pot} con una **PDI_VPRpot** correspondiente a un estado de lactación, la eficiencia proteica (EfPDI) tiene un valor de referencia de 0,67. No obstante, toda diferencia entre las necesidades ligadas al potencial (PI_{pot} , **UFL_VPRpot** y **PDI_VPRpot**) y las aportaciones en PDI tiene influencia sobre la producción y la composición de leche, y, en consecuencia, sobre la EfPDI . La eficiencia o eficacia de uso es común a todos los procesos de síntesis proteica. EfPDI de una ración no se puede calcular más que al final del proceso iterativo, excepto en el caso en que las aportaciones permitan cubrir las necesidades de producción potencial (situación de referencia), o cuando la ingestión de PDI y la producción de proteínas a la leche son conocidas.

Las necesidades totales en proteínas (NecPDI) son la suma de los siguientes conceptos:

$$\text{NecPDI} = \text{NecPDI}_{\text{no productivas}} + \text{NecPDI}_{\text{crecimiento}} + \text{NecPDI}_{\text{PI}} + \text{NecPDI}_{\text{gest}}$$

Las necesidades no productivas, por tanto, son:

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

$\text{NecPDI}_{\text{PU}_{\text{endo}}}$ proteínas endógenas *turn-over* corporal = **0,312 x Pv**; no dependen de la eficiencia proteica (EfPDI).

$$\text{NecPDI}_{\text{P}_{\text{epidérmicas}}} \text{ proteínas producciones epidérmicas} = \mathbf{(0,2 \times \text{Pv}^{0,6})/\text{EfPDI}}$$

$\text{NecPDI}_{\text{PEF}}$ proteínas endógenas fecales = **MSI x (5 x (0,57 + 0,0074 x MOND))**/EfPDI (no es posible calcular $\text{NecPDI}_{\text{PEF}}$ independientemente de la ración ingerida); MSI es la materia seca ingerida, MOND es la materia orgánica no digestible.

$\text{NecPDI}_{\text{creixement}}$ són funció de l'edat, sobretot en primíparas, en mesos,

$$\text{Si edad} > 40, \text{NecPDI}_{\text{crecimiento}} = 0$$

$$\text{Si edad} > 40, \text{NecPDI}_{\text{crecimiento}} = (270 - 6,66 \times \text{edad})/\text{EfPDI}$$

$\text{NecPDI}_{\text{PI}}$, son las necesidades de producir leche $\text{NecPDI}_{\text{PI}} = (\text{PI} \times \text{tp})/\text{EfPDI}$, tp en g/kg

$\text{NecPDI}_{\text{gest}}$, son las necesidades de gestación

$$\text{NecPDI}_{\text{gest}} = (0,0448 \times \text{Pv}_{\text{ternero}} \times \exp^{(0,111 \times \text{sg})})/\text{EfPDI}$$

Para calcular las necesidades en PDI de una vaca con un régimen determinado, se calcularán para un equilibrio que permita la producción MP potencial, donde $\text{EfPDI} = 0,67$. En el racionamiento, si las aportaciones PDI y UFL no cubren las necesidades calculadas para PI_{pot} , la respuesta marginal de la secreción de proteínas se estima a partir de las ecuaciones del balance:

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

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

De la misma manera 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 MP de la leche, y, en consecuencia, la *EfPDI* en el seno de una ración.

MINERALES

El Ca, el P y el Mg tienen unos coeficientes de absorción de 0,40, 0,65 y 0,16, respectivamente. Las necesidades en Ca absorbible son:

$$\text{NecCa}_{\text{abs}} = (0,663 \times \text{MSI}) + (0,008 \times \text{Pv}) + (1,25 \times \text{PI}) + 23,5 / (1 + \exp^{(18,8 - 5,3 \times \ln(\text{sg}))}) + \text{NecCa}_{\text{abs_crecimiento}}$$

$$\text{NecCa}_{\text{abs_crecimiento}} = -0,189 \times \text{edad} + 8,03, \text{ edad} < 40$$

Después si lo expresamos en Ca les $\text{NecCa} = \text{NecCa}_{\text{abs}} / 0,40$

Las necesidades en P absorbible son:

$$\text{NecP}_{\text{abs}} = (0,83 \times \text{MSI}) + (0,002 \times \text{Pv}) + (0,9 \times \text{PI}) + 7,38 / (1 + \exp^{(19,1 - 5,46 \times \ln(\text{sg}))}) + \text{NecP}_{\text{abs_crecimiento}}$$

$$\text{NecP}_{\text{abs_crecimiento}} = -0,115 \times \text{edad} + 4,76, \text{ edad} < 40$$

Como antes con el Ca, las necesidades en P serán $\text{NecP} = \text{NecP}_{\text{abs}} / 0,60$

Las necesidades en Mg absorbible son:

$$\text{NecMg}_{\text{abs}} = 0,011 \times \text{Pv} + \text{NecMg}_{\text{abs_crecimiento}} + 0,14 \times \text{PI} + 0,30 \text{ (último tercio de la gestación)}$$

$$\text{NecMg}_{\text{abs_crecimiento}} = 0,4 \times \text{kg de aumento de peso}$$

$$\text{NecMg} = \text{NecMg}_{\text{abs}} / 0,16$$

RESPUESTAS A LA PRODUCCIÓN

El sistema INRA permite prever la ingestión y la producción. Los balances en energía y proteína teóricos corresponden a diferencias entre aportaciones y necesidades relacionadas con la producción de leche, incluyendo las variaciones potenciales de las reservas corporales, tanto positivas como negativas, tal como ya hemos explicado:

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

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

Estos balances se calculan para prever la respuesta de la producción de leche según su potencial, pero no tienen nada que ver sobre el balance final, que depende de la ración y de la respuesta del animal.

$$\text{resp_MP} = ((\text{PI}_{\text{pot}} \times \text{tp}_{\text{pot}}) / 850) \times (49,6 + (50 \times \text{balUFL}_{\text{teórico}})) - (71,5 \times \ln(1 + \exp^{((\text{balUFL}_{\text{teórico}} - 0,014 \times \text{CPDI}) / 1,43)}))$$

$$\text{CPDI (coeficiente de respuesta)} = (0,3 \times \text{balPDI}_{\text{teórico}}) - (0,0001 \times \text{balPDI}_{\text{teórico}}^2)$$

PI_{pot} kg/día; tp_{pot} g/kg, y balances en g/día

$$\text{resp_PI} = 0,029 \times \text{resp_MP}$$

$$\text{PI} = \text{PI}_{\text{pot}} + \text{resp_PI}$$

$$\text{MP} = \text{PI}_{\text{pot}} \times \text{tp}_{\text{pot}} + \text{resp_MP}$$

$$\text{tp} = \text{MP}/\text{PI}$$

INGESTIÓN

La capacidad de ingestión de una vaca en producción es función del peso vivo, de la producción potencial de leche por día a la semana en cuestión, de la condición corporal y está afectada por diferentes índices.

$$\text{CI} = (14,25 + 0,015 \times (\text{Pv} - 600) + 0,11 \times \text{PI}_{\text{pot}} + (2,5 - \text{CC})) \times \text{I_Clact} \times \text{I_Clgest} \times \text{I_Clmadurez} \times \text{I_ClPDI}$$

I_Clact , índice efecto inicio lactación = $a + (1 - a) \times (1 - \exp^{(-0,25 \times \text{sl})})$, $a = 0,6$ (primíparas), $a = 0,7$ (multíparas)

I_Clgest , índice efecto gestación = $0,8 + 0,2 \times (1 - \exp^{(-0,25 \times (40 - \text{sg}))})$

I_Clmadurez , índice efecto edad (madurez) = $-0,1 + 1,1 \times (1 - \exp^{(-0,08 \times \text{edat})})$, edad en meses

I_ClPDI , índice específico contenido proteínas = $0,91 + 0,115 / (1 + \exp^{(0,13 \times (90 - (\text{PDI}/\text{UFL}))})$, (basado en PDI/UFL en el seno de la ración).

VALOR DE REPLECIÓN DEL CONCENTRADO

Si el valor de repleción o hartazgo de un forraje es un dato fijo, el valor de hartazgo de un concentrado para las vacas lecheras es una función compleja que combina los valores de hartazgo de los forrajes de la ración y del concentrado, así como los estados energético y proteico de la vaca que recibe el régimen alimentario. El valor de hartazgo o repleción del concentrado es el producto de la tasa de sustitución global del forraje al concentrado ($\text{Sg}(\text{PCO})$) y del valor de repleción medio ponderado de los forrajes. PCO es la proporción de MS concentrados en la ración. La tasa de sustitución es la cantidad de MS forrajera que desplaza en el seno de una ración al incorporar un kg de MS concentrado. La vaca por ejemplo podría comer 12 kg MS de un raigrás hoja si se le suministra *ad libitum*, si la vaca se la suministra un kg de pienso, se comerá el pienso y dejará de comer una parte del forraje *ad libitum* como único alimento. Si, supongamos que deja de comer 0,5 kg, la tasa de sustitución sería $0,5/1 = 0,5$.

La tasa de sustitución de las vacas lecheras depende principalmente de los estados energético y proteico. Es una función logística (forma sigmoidea) que simula el aumento de la tasa de sustitución cuando aumenta el balance energético; el valor mínimo S_0 corresponde al valor de repleción físico del concentrado (bVEc , en las tablas) (ver documento sobre la valoración nutritiva) y el valor máximo S corresponde a una sustitución energética de 1 UFL de forraje para 1 UFL de concentrado. El punto de inflexión (PI) se modula por la relación PDI/UFL, la sustitución será, por tanto, más débil cuando la densidad proteica de la ración es alta.

$$\text{Sg}(\text{PCO}) = (S - S_0) \times (1 + (1/(9,5 \times \text{PCO}))) \times \ln((d \times \exp^{(9,5 \times (\text{R}_{\text{PCO}} - \text{PCO}))} + 1) / (d \times \exp^{(9,5 \times \text{R}_{\text{PCO}})} + 1)) + S_0$$

$$S_0 = \text{bVEc}/\text{UEf}$$

$$S = \text{UFLc}/\text{UFLf}$$

$$d = ((S - S_0) / (\text{P}_{\text{inflexión}} - S_0)) - 1$$

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

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

R_{PCO} representa la proporción teórica de concentrado (PCO) necesaria para atender el equilibrio entre aportaciones y necesidades energéticas ligadas a la producción de leche potencial, una vez restada la variación potencial de energía de las reservas corporales (**UFL_VPRpot** en UFL/día). Lo que se pretende es calcular R_{PCO} . 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 aquí, en el caso de no ser suficiente con los forrajes, se van incorporando concentrados ($PCO > 0$) 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 hasta el punto buscado.

Las reservas corporales al postparto son importantes, ya que cuando funde grasas la vaca aporta UFL y esta aportación hará que el valor R_{PCO} disminuya lo que sería en otras condiciones. Por eso en el posparto la tasa de sustitución simulada es más alta a pesar de un balance energético negativo en este periodo.

El valor de R_{PCO} se calcula de la siguiente manera:

$$R_{PCO} = ((CI \times UFLf/UEf) - (NecUFL - UFL_VPR_{pot})) / ((NecUFL - UFL_VPR_{pot}) \times (Sg(R_{PCO}) - 1) - ((CI/UEf) \times (UFLc - UFLf)))$$

R_{PCO} con buenos forrajes y vacas con baja producción o secas puede ser negativo, simulando valores de hartazgo altos en los concentrados.

Para secas se considera $Pl_{pot} = 0$. El valor de $Sg(R_{PCO})$ es un caso particular de $Sg(PCO)$ con $PCO = R_{PCO}$. Por lo tanto la ecuación,

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

Quedará así:

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

Una vez llegado al punto de reencuentro, la ración tiene una tasa de sustitución global $Sg(PCO)$ donde PCO es R_{PCO} y el valor de repleción o hartazgo de la cantidad de concentrado en la ración es $UEc = UEf \times Sg(PCO)$.

UEc varía según los tipos de forrajes y las proporciones y composiciones de los concentrados en la ración. Con regímenes ricos en proteínas, Sg aumenta menos rápido con el nivel de aportaciones de concentrados que en los regímenes pobres en proteínas. Del mismo modo, con un forraje muy energético (Ensilado de maíz) el valor de repleción del concentrado tiene una tendencia a aumentar más rápidamente con el nivel de aportaciones de concentrado que con un forraje de menor calidad.

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

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

En los siguientes capítulos que dedicamos a la aplicación *RACIONAMIENTO DE VACAS DE LECHE* iremos explicando los diferentes cálculos.

BASES DEL RACIONAMIENTO

Primero calculamos las necesidades de la vaca (UFL, PDI, Ca y P) y la capacidad de ingestión en UE. Esto serían valores teóricos y objetivos. Después tendremos la valoración de los ingredientes disponibles

(forrajes, concentrados y minerales) con las restricciones fisiológicas propias y las restricciones de cantidades impuestas, bien por la práctica o bien por decisión del titular. De los ingredientes también dispondremos de los precios o de los costes de producción.

El objetivo es formular una ración al mínimo coste. Si las aportaciones igualan las necesidades y la ración es al mínimo coste, la solución sería fácil de encontrar si todo fuera sumar, restar, multiplicar y dividir. Pero hace tiempo que sabemos que la realidad es compleja.

La capacidad de ingestión va cambiando debido al contenido PDI/UFL, y los contenidos PDI y UFL no son la suma producto de las cantidades de ingredientes por el valor nutritivo de los mismos en PDI y UFL, sino que según el nivel de ingestión, que a su vez cambia a medida que entra concentrado en la ración, la eficiencia de transformación de la proteína varía y la digestibilidad de la materia orgánica también varía debido al nivel de ingestión, la cantidad o PCO de concentrado y del balance proteico en el rumen (BPR), de tal manera que todo se va rehaciendo a medida que van encajando las aportaciones y las necesidades (variables).

Antes de entrar a la aplicación trataremos dos temas importantes para plantear el racionamiento correctamente, uno es el de las interacciones digestivas y el otro la eficacia o eficiencia de las PDI para las funciones de proteosíntesis.

INTERACCIONES DIGESTIVAS

Hasta ahora empleábamos la depresión de la digestibilidad, que era función de la proporción de concentrados en la ración (PCO) y de las necesidades 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.

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

- a) 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.
- b) Si la proporción de concentrados (PCO) es alta, baja el pH ruminal y se inhiben los microorganismos que degradan la celulosa.
- c) La disponibilidad de N en el rumen, que es balance proteico del rumen (BPR), cambia la actividad microbiana.

En el sistema INRA 1978-2007 la disponibilidad N y la actividad microbiana se cuantificaban mediante PDIN y PDIE, ahora en INRA-18, es el balance proteico del rumen:

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

Las $\text{MNT}(\text{no amoniacales})_{\text{duodeno}}$ son las MNT alimentarias no degradadas más las MNT microbianas más las MNT endógenas.

BPR es un indicador de la diferencia entre la síntesis proteica microbiana permitida por la MNT degradable disponible en el rumen y la que permitiría la energía disponible en la MOF en el rumen. Anteriormente utilizábamos en el racionamiento un índice $(\text{PDIN} - \text{PDIE})/\text{UFL}$. 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 entre energía y nitrógeno en los procesos digestivos, así como el crecimiento microbiano. También se emplea para predecir las pérdidas urinarias de N.

EFFECTO DEL NIVEL DE INGESTIÓN EN LAS INTERACCIONES DIGESTIVAS

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

$dMO_m = 76 - 2,74 \times NI$, NI es el nivel de ingestión de la ración, en % del peso vivo.

Cada ingrediente forrajero tiene un valor NI_{ref} en las tablas y todos los concentrados tienen $NI_{ref} = 2$. La ración (combinación de forrajes y concentrados) tendrá un valor NI_{ref} igual a suma producto de las cantidades y los NI_{ref} . Por ejemplo, $NI_{ref} = 1,77$.

La vaca comerá de esta ración, por ejemplo, 24,52 kg MS y si la vaca pesa 650 kg, el NI de la ración será:

$$NI = 24,52 \times 100/700 = 3,77$$

Hay una diferencia evidente entre el calculado y el real, por tanto, la interacción sobre la dMO se expresa así: $\Delta dMO_{NI} = -2,74 \times (NI - NI_{ref})/100 = -2,74 \times (3,77 - 1,77)/100 = -0,054806366$, valor que *resta* a la dMO_m

EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE CONCENTRADO EN LAS INTERACCIONES DIGESTIVAS

Se trata de cuantificar el efecto de la proporción de concentrado (PCO, entre 0 y 1) sobre las interacciones digestivas. Experimentalmente el efecto de PCO sobre la dMO de la ración se expresa así:

$$\Delta dMO_{CO} = -6,5/(1 + (0,35/PCO)^3)/100$$

Si en la ración formulada $PCO = 0,49$, $\Delta dMO_{CO} = -6,5/(1 + (0,35/0,49)^3)/100 = -0,0479722$ valor que *resta* a la dMO_m

EFFECTO DEL BALANCE PROTEICO DEL RUMEN EN LAS INTERACCIONES DIGESTIVAS

El balance proteico en el rumen:

$BPR = MNT_{ingerida} - [MN_{alim_intestino} + MN_{microbiana_intestino} + MN_{endógena_intestino}]$, es decir, **BPR es la MN que no llega al intestino.**

1. La $MNT_{ingerida}$ es un valor que se obtiene de los cálculos de la ración, y al ejemplo es igual a **157,21**
2. $MN_{alim_intestino}$ (Proteínas alimentarias no fermentadas en el rumen) = $MNT_{ingerida} \times (1 - DT_N)$
 - a. DT_N , degradabilidad de las proteínas, es un valor experimental para cada ingrediente, por tanto, los tenemos de los que entran en la ración, y la DT_N de la ración es 0,67.

$$MN_{alim_duodeno} = 52,30$$

3. $MN_{microbiana_intestino} = 41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times MORd_rumen + 8,40 \times PCO$
 - a. $MORd_rumen$, es la materia orgánica digestible en el rumen, o sea la MOF, la materia orgánica fermentescible, y es un valor que se obtiene de la composición de la ración, ya que cada ingrediente tiene su valor MOF, y en nuestro caso es igual a 588,83

$$MN_{microbiana_intestino} = 41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times 588,83 + 8,40 \times 0,49 = 87,20$$

4. $MN_{endógena}$ se considera un valor fijo igual a **14,20**

$$5. \quad BPR = 157,21 - (52,30 + 87,20 + 14,20) = 3,52$$

El BPR calculado en la ración (cada ingrediente viene caracterizado por su valor BPR) en nuestro caso es igual a 11,85 (BPR_{ref}).

La interacción de la BPR sobre la dMO:

$$\Delta dMO_{BPR} = -0,060 \times (BPR - BPR_{ref})/100 = -0,060 \times (3,52 - 11,85)/100 = 0,005$$

Las tres interacciones serán $-0,054806366 - 0,0479722 - 0,005 = -0,107778566$

Este valor hará que la digestibilidad de la MO corregida por las interacciones $dMO_c = dMO + (\Delta dMO_{NI} + \Delta dMO_{CO} + \Delta dMO_{BPR}) = dMO - 0,107778566$.

La ración formulada tiene una dMO calculada ya que cada ingrediente tiene su dMO, y en el ejemplo será igual a 0,79, por tanto $dMO_c = 0,79 - 0,107778566 = 0,68$. Evidentemente, aquí se entra directamente en las iteraciones ya que la realidad no se basa en $dMO = 0,79$ sino en $dMO_c = 0,68$.

La ecuación de restricción energética del planteamiento de la ración sería la siguiente:

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

Las aportaciones energéticas deben ser igual a las necesidades calculadas. Las NecUFL se han calculado con una $dMO = 0,79$, y ahora la dMO_c va variando en función del NI, de PCO y de BPR, por tanto en la restricción energética podemos poner lo siguiente:

$$\sum_i X_i \times UFL_i = NecUFL \times \left(\frac{dMO}{dMO_c} \right)$$

EFICACIA DE LA SÍNTESIS PROTEICA EN LACTACIÓN

En primer lugar necesitamos conocer la PDI disponible para cubrir las necesidades no productivas y las productivas.

$$PDI_{disp} = PDI_{ing} - NecPDI_{PU_{endo}}$$

PDI_{ing} es la que una vez formulada la ración obtenemos directamente de los cálculos (suma producto de las cantidades de cada ingrediente y los valores PDI de los mismos), en el ejemplo $PDI_{ing} = 2.327,13$ g

$$NecPDI_{PU_{endo}} = 0,312 \times Pv = 0,312 \times 650 = 202,8 \text{ g}$$

$$PDI_{disp} = 2.327,13 - 202,8 = 2.124,33 \text{ g.}$$

La $EfPDI$ es igual a **gastos proteicos**/ PDI_{disp}

Hay varias maneras de calcular la $EfPDI$ de una ración, explicamos dos.

Método A

- a) Primero se debe calcular el balance energético de la ración ($balUFL$), que es igual a las aportaciones UFL de la ración más las aportaciones de las reservas corporales (**UFL_VPR** que pueden ser + o -) menos las necesidades UFL calculadas: en el ejemplo, $balUFL = 28,63 + (-0,69) - 25,08 = 2,86$ UFL.

- b) Si el balance energético es positivo las proteínas se fijan (no se emplean para generar energía) y el balance proteico (balPDI) deviene un gasto, y, en consecuencia *EfPDI* se calcula así:

$$EfPDI = (P_{EF} + P_{epidérmicas} + Mp + balPDI)/PDI_{disp}$$

$P_{EF} = 5,7 + 0,0074 \times MOND$; MOND, materia orgánica no digestible, igual a (MO – MODc); MODc es la MOF corregida por las interacciones (NI, PCO i BPR). MO la sacamos directamente de los cálculos (MO = 853,48), la MODc es la MOF (directamente de los cálculos) corregida por dMOC, MO - MOND = 853,48 – 588,83 x dMOC/dMO = 853,48 – 588,83 x 0,69/0,79 = 339,18 g PDI, i $P_{EF} = 5,7 + 0,0074 \times 339,18 = 8,2 \text{ g PDI}$

$$P_{epidérmicas} = 0,2 \text{ g PDI/kg Pv}^{0,60} = 0,2 \times 650^{0,60} = 9,74 \text{ g PDI}$$

$$Mp = \text{producción de leche} \times tp = 36,38 \times 31 = 1.127,83 \text{ g PDI}$$

$$balPDI = \text{Aportaciones PDI} + \text{aportaciones reservas corporales (PDI_VPR)} - \text{Necesidades calculadas} = 2.327,13 + (-22,76) - 1.973,87 = 330,5 \text{ g PDI}$$

$$PDI_{disp} = 2.124,33 \text{ g PDI}$$

$$EfPDI = (8,2 + 9,74 + 1.127,83 + 330,5)/2.124,33 = 0,69.$$

- c) Si el balance energético es negativo, el balance proteico (balPDI) es una aportación y su valor absoluto se junta a las PDI_{ing} , y, en consecuencia *EfPDI* se calcula así:

$$EfPDI = (P_{EF} + P_{epidérmicas} + Mp)/(PDI_{disp} + balPDI).$$

1. Método B.

Hay un ajuste exponencial entre *EfPDI* y la concentración en PDI de la ración:

$EfPDI = EfPDI_{100} \times \exp^{-b \times (PDI - 100)}$, donde $EfPDI_{100}$ es la eficacia cuando la PDI de la ración es 100 g/kg MS, PDI es el contenido en g/kg MS.

Para las vacas lecheras la ecuación es la siguiente: $EfPDI = 0,67 \times \exp^{-0,007 \times (PDI - 100)}$

En la anterior aplicación se consideraba una eficiencia constante y, por tanto, la ecuación era:

$$(1 - a) \times NecPDI \leq \sum_i Xi \times PDI_i \geq (1 + a) \times NecPDI$$

Donde las aportaciones debían estar entre dos límites a efectos de facilitar los cálculos. Por ejemplo, si $a = 0,05$, las aportaciones deben estar entre el 95% y el 105% de las necesidades.

Ahora hemos visto que la eficiencia cambia en el seno de la ración. Y, también, a efectos de facilitar los cálculos se mantiene poner un rango (a) y añadimos el cálculo de necesidades con *EfPDI*. No obstante, lo simplificamos de la siguiente manera:

En el cálculo de necesidades PDI o hemos introducido las necesidades relativas a las proteínas endógenas fecales que dependen de la materia seca ingerida y de la MO no digestible, afectada también por la depresión de la digestibilidad ($NecPDI_{P_{EF}} = MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MOND))/EfPDI$), pero para una $EfPDI = 0,67$ las necesidades asociadas a la proteína endógena fecal tienen una media de 19,8 que es el valor que empleamos para el cálculo.

En la formación de proteínas productivas y no productivas (excepto las endógenas fecales) se considera para el cálculo de necesidades $EfPDI = 0,67$. Añadimos a las necesidades las $NecPDI_{P_{EF}}$ con la MSI real, la *EfPDI* real y la MOND corregida, por tanto las restricciones de la proteína quedan así:

$$(1 - a) \times \left\{ NecPDI + \frac{[MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MONDc))]}{EfPDI} \right\} \leq \sum_i Xi \times PDI_i \geq (1 + a) \times \left\{ NecPDI + \frac{[MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MONDc))]}{EfPDI} \right\}$$

De hecho, la aplicación el valor de las $NecPDI$ calculadas se disgrega en dos sumatorios: $NecPDI_{PUendo}$ que no está afectado por la eficiencia *EfPDI*, y el resto ($NecPDI - NecPDI_{PUendo}$) que toda ella está afectada por la *EfPDI*, y, por tanto, en la restricción este resto se multiplica por 0,67 y se divide por *EfPDI* de la ración, que se obtiene iterativamente.

BPR, BALANCE PROTEICO EN EL RUMEN

En la aplicación el cálculo del BPRref se hace como con los otros nutrientes, y en cuanto a las restricciones ponemos la siguiente restricción:

$$0 \leq \sum_i X_i \times BPRref_i \leq 30$$

Según INRA-2018, el valor BPR no debe ser muy alto ya que se aumentarían las pérdidas en N urinario; de hecho, como antes con PDIN y PDIE, se tendía a que fueran iguales, dentro de una tolerancia que facilitara los cálculos, la situación ideal sería obtener BPR próximo a 0. Para las vacas de alto nivel productivo aconseja un rango de - 8 a 0, y para animales poco productivos de - 15/-20 a - 8.

LA RESTRICCIÓN DE LA INGESTIÓN

En el cálculo teórico de la CI no hemos incluido el índice $I_{CI_{PDI}}$ y en las restricciones lo añadimos a la CI previamente calculada, y también damos un margen entre 90% y 110% de la CI.

El valor total en UE que queremos que esté entre estos dos límites es la suma de las aportaciones en UE de los forrajes (UE) + aportaciones en UE de los concentrados

Supongamos un solo forraje (UEf = 1,1) y un solo concentrado: el forraje ad libitum y como único alimento podría ser consumido en una cantidad igual CI/UEf, si CI = 17 UE, $17/1,1 = 15,45$ kg MSf total y aportaría $15,45 \times 1,1 = 16,995$ UE

La ración que cubre las necesidades energéticas contiene 18 kg MS y está compuesta por 20% de concentrados y 80% de forrajes, y la tasa de sustitución resulta igual a 0,30 kg MSf/kg MSc

Aportaciones UE del forraje = $(1 - 0,20) \times 20 \times UEf = (1 - 0,20) \times 18 \times 1,1 = 15,84$ UE

Aportaciones UE del concentrado = $(1 - 0,20) \times 20 \times (0,20/(1 - 0,20)) \times 0,30 \times 1,1 = 1,32$ UE

Las aportaciones UE totales serán 17,16 UE.

[Aportaciones UEf + aportaciones UEf x (PCO/(1 - PCO) x Sg] este valor debe estar entre los límites establecidos.

CALCIO, FÓSFORO Y MAGNESIO

Las necesidades en Ca, P y Mg tienen un sumando que es función de la MSI, en el cálculo hemos introducido una fórmula para calcular la capacidad de ingestión en MS, y al poner las restricciones se ajustan las necesidades a la MSI de la ración calculada.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Allen MS, Sousa DO, VandeHaar J. 2019. Equations to predict feed intake response by lactating cows to factors related to the filling effect of rations. J. Dairy Sci. 102: 7961-7969 (<https://doi.org/10.3168/jds.2018-16166>).
- ANDRIEU J, BARRIERE Y, DEMARQUILLY C. 1999. Digestibilité et valeur énergétique des ensilages de maïs: le point sur les méthodes de prévision au laboratoire. INRA Prod Anim; 12 (5): 391-396.
- AUFRÈRE J, GRAVIOU D, DEMARQUILLY C, VERITE R, MICHALET-DOREAU B, CHAPOUTOT P. 1989. Aliments concentrés pour ruminants: prévision de la valeur azotée PDI à partir d'une méthode enzymatique standardisée. INRA Prod Anim; 2 (4): 249-254.

- BAUMONT R, CHAMPCIAUX P, AGABRIEL J, ANDRIEU J, AUFRÈRE J, MICHALET-DOUREAU B, DEMARQUILLY C. 1999. Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants: PrévAlim pour INRAtion. INRA Prod Anim; 12 (3): 183-194.
- COPPOCK, CE. 1987. Supplying the energy and fiber needs of dairy cows from alternate feed sources. J Dairy Sci; 70: 1110-1119.
- DEMARQUILLY C, ANDRIEU J. 1992. Composition chimique, digestibilité et ingestibilité des fourrages européens exploités en vert. INRA Prod Anim; 5 (3): 213-221.
- DEMARQUILLY C. 1994. Facteurs de variation de la valeur nutritive du maïs ensilage INRA Prod Anim; 7 (3): 177-189.
- DOWKER, JD. 1989. Improved energy prediction equations for dairy cattle rations. J Dairy Sci; 72: 2942-2948.
- FEDNA. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (2ª edición) C. de Blas, G.G. Mateos y P.Gª. Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2003. Madrid, España. 423. (<http://www.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm>)
- GIGER-REVERDIN S, AUFRERE J, SAUVANT D, DEMARQUILLY C, VERMOREL M, POCHET S. 1990. PrévAlim de la valeur énergétique des aliments composés pour ruminants. INRA Prod Anim; 3(3): 181-188.
- IAMZ. 1981. Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne. Paris: Serie etudes, Options méditerranéennes.
- IAMZ. 1990. Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne. Paris: Serie B, Etudes et recherches, 4, Options méditerranéennes.
- **INRA. 1978.** Alimentation des Ruminants. Paris: INRA.
- **INRA. 1981.** PrévAlim de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Tables de prévision de la valeur alimentaires des fourrages. Theix: INRA.
- INRA. 1983. Luzerne. Paris: Centre de Recherches de Lusignan.
- INRA. 1987. Alimentation des Ruminants: Révision des systèmes et des tables de l'INRA. Bull Tech CRZV, Theix INRA; n° 70.
- **INRA. 1988.** Alimentation des Bovins Ovins et Caprins. Paris: INRA.
- **INRA. 2007.** Alimentation des Bovins Ovins et Caprins. Besoins des animaux-Valeurs des aliments. Tables INRA. Versailles: Quae.
- **INRA. 2018. Alimentation des ruminants. Éditions Quae.**
- INRAP. 1984. Alimentation des Bovins. Paris: ITEB.
- ITEB-EDE. 1989. Pratique de l'alimentation des bovins. Tables de l'INRA 1998. Paris: ITEB.
- JOHNSON L, HARRISSON JH, HUNT C, SHINNERS K, DOGGETT CG, SAPIENZA D. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. J Dairy Sci; 82: 2813-2825.
- LEROY A. 1968. La vaca lechera. Barcelona: Editorial GEA.
- MICHALET-DOUREAU B, NOZIÈRE P. 1999. Intérêts et limites de l'utilisation de la technique des sachets pour l'étude de la digestion ruminale. INRA Prod Anim; 12 (3): 195-206.
- MICHALET-DOUREAU B. 1992. Aliments concentrés pour ruminants: dégradabilité in situ dans le rumen. INRA Prod Anim; 5(5): 371-377.
- NRC. 1988. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. 6ª edición revisada. Washington: National Academy Press.
- NRC. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. 6a. edición. Washington: National Academy Press.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7a edición. [en línea] disponible a <http://books.nap.edu/books/0309069971>.
- SAUVANT D, PÉREZ JM, GILLES T. 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Paris: INRA.
- SEGUÍ A, SERRA P. 2000. Programa informàtic d'alimentació de vaques. Nº Registre Propietat Intel·lectual B-40754.. Lleida: Servei de Biblioteca, dossiers electrònics, ETSEA-UdL.
- SEGUÍ A. 1978. Tablas alimenticias y racionamiento en Catalunya. Reus: SEA.
- SEGUÍ A. 1979. Ejemplo teórico para equilibrar una ración de maíz. Reus: SEA. FIT 4/ 79.
- SEGUÍ A. 1982. Alimentació de vaques de llet. Alimentació de bovins de carn. Barcelona: DARP, SEA.

- SEGUÍ A. 1983. Alimentació de vaques de llet; equilibri de racions de volum: aliments concentrats. Pinsos per a produir llet. Reus: SEA. FIT 22/83.
- SEGUÍ A. 1983. Estudi de racions alimentàries per a vaques de llet a la comarca del Gironès. Reus: SEA. FIT 23/83.
- SEGUÍ A. 1988. Racionament alimentari de vaques de llet. Barcelona: Caixa de Catalunya, Departament d'Agricultura Ramaderia y Pesca de la Generalitat de Catalunya.
- SEGUÍ A. 1989. Matèria seca, farratgera, concentrada... i la fibra?. Barcelona: SEA. Full de Divulgació 33/89.
- SEGUÍ A. 2005.- La necesidad de extensión agraria en vacuno lechero. Sanz E. (director) [Tesis doctoral]. Universitat de Lleida.
- SEGUÍ PARPAL, A. 2009. L'explotació de vaques de llet. Factors de producció i bases de la comunicació per a la innovació. Coedició DAR UdL.
- VAN SOEST PJ. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. New York: OB Books, Inc.
- VAN SOEST PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2a edició. New York: OB Books, Inc.
- ZIMMER N, CORDESSE R. 1996. Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. INRA Prod Anim; 9 (3): 167-179.