

Grup de remugants "Ramon Trias"

Racionament alimentari de vaques lleteres

Basat en INRA-2018

Antoni Seguí Parpal
1 de març de 2020

PRINCIPIS DEL RACIONAMENT

Per tal de no desvirtuar els conceptes, en aquest document indicarem les transcripcions del propi llibre traduïdes, i les posarem en cursiva.

Com hem vingut dient, contràriament a la creença que s'han d'alimentar les vaques segons el seu potencial genètica, INRA diu: *No sempre és possible o desitjable satisfer la totalitat de les necessitats segons les característiques o el potencial animal; pot ser preferible alimentar el remugants amb una ració de composició determinada o predeterminada i avaluar les conseqüències sobre els resultats.*

D'aquesta manera, com es fa a la pràctica habitual en vaques de cria, que a l'hivern, segons Trias, "llegeixen el diari" i s'aprimen fins que surten al prat, a les vaques de llet també s'han d'aprofitar les mobilitzacions de les reserves corporals. La condició corporal pren, per tant, protagonisme en tot el racionament, i durant el cicle productiu anual el racionament s'adapta a la mobilització i a la reconstitució de les reserves corporals (sistema acordió), tant en energia com en proteïna, de tal manera que *el càlcul de la ració ha de preveure les capacitats d'adaptació de l'animal i preveure les respostes associades.*

INRA-2018 diu que les etapes de la formulació de la ració són:

1. Preveure les necessitats nutritives i la CI dels animals segons les seues característiques
2. Determinar el valor alimentari del conjunt d'aliments disponibles
3. Calcular les quantitats ingerides de cada aliment de la ració i el valor nutritiu de la ració **integrant-hi els efectes de les interaccions digestives**
4. Preveure les produccions dels animals
5. Integrar les diverses estratègies d'alimentació – en pastura o en estabulació; *ad libitum* o no – i calcular **l'eficàcia alimentària diària i els balanços nutritius.**

El principi clau del racionament és la valorització del farratge, o de la ració farratgera, i que els concentrats complementin les aportacions nutritives dels farratges. En tots els casos l'objectiu és satisfer la capacitat d'ingestió.

Per als remugants en estabulació, si es distribueix un farratge o una mescla de farratges *ad libitum*, *la ingestió total de MS queda maximitzada acceptant un refús diari entre el 5 i 10 % del subministrament.*

Si hi ha diversos farratges no mesclats és impossible preveure l'elecció que l'animal faci de cadascun d'ells, i en aquest cas es considera un sol farratge *ad libitum* i la resta es consideren en quantitats fixes i totalment ingerits. I a la inversa, quan es distribueixen mesclats es considera un sol farratge que tindrà un valor nutritiu igual a la mitjana ponderada.

Per facilitar la comprensió posem el significat de les abreviatures que fem, i que, en gran part, són les de l'INRA ja que creiem millor respectar la nomenclatura INRA.

ABREVIATURES I SIGNIFICAT

AADI, aminoàcids digestibles a l'intestí
ADF, fibra àcid detergent
AGD_int, àcids grassos digestibles a l'intestí
AmiD-int, midó digestible a l'intestí
balPDI, balanç proteic d'una ració
balUFL, balanç energètic d'una ració
BPR, balanç proteic al rumen

bVEc, valor basal d'*encombrem*ent concentrat
CC_{part}, condició corporal al part, de 0 a 5
CI, capacitat d'ingestió en UE
dCs, digestibilitat enzimàtica pepsina-cel·lulasa
dE, digestibilitat energia
dMO, digestibilitat de la matèria orgànica
dMO, digestibilitat de la MO
dr_N, digestibilitat real de les proteïnes
DT_N, degradabilitat de les proteïnes al rumen
EB, energia bruta
ED, energia digestible
EE, extracte eteri (matèria grassa total)
EfPDI, eficiència o eficàcia d'ús de les proteïnes en les funcions de producció
EM, energia metabolitzable
E_{metà}, energia que es perd en forma de metà
ENI, energia neta llet
EN_{mant i carn}, energia neta carn
E_{orina}, energia que es perd per l'orina
FB, fibra bruta
I_C_{gest}, índex efecte gestació a la CI
I_C_{lact}, índex efecte lactació a la CI
I_C_{maduresa}, índex efecte edat (maduresa) a la CI
I_C_{PDI}, índex específic contingut proteïnes a la CI, basat en PDI/UFL
Mg, matèria grassa total a la llet
MN alim_intestí, és la proteïna que prové de l'aliment i no s'ha degradat al rumen
MN endògena_intestí, és la proteïna endògena que arriba a l'intestí
MN microbiana_intestí, és la proteïna microbiana formada al rumen que arriba a l'intestí
MNT, matèria nitrogenada total o proteïna bruta
MOD, matèria orgànica digestible
MOF, matèria orgànica fermentescible
Mp, matèria proteica total a la llet
MS, matèria seca
MSV**ib**, matèria seca voluntàriament ingerida (boví)
MSV**II**, matèria seca voluntàriament ingerida (vaques llet)
MSV**Im**, matèria seca voluntàriament ingerida (oví)
NDF, fibra neutre detergent
NDFD_int, NDF digestible a l'intestí
NecCa_{abs}, necessitats en Ca absorbible
NecMg_{abs}, necessitats en Mg absorbible
NecP_{abs}, necessitats en P absorbible
NecPDI, necessitats en PDI
NecPDI_creixement, necessitats de creixement en PDI
NecPDI_gest, necessitats de gestació en PDI
NecPDI_no productives, necessitats no productives en PDI
NecPDI_P_{EF}, necessitats en proteïnes endògenes fecals en PDI
NecPDI_P_{epidèrmiques}, necessitats epidèrmiques en PDI
NecPDI_P_I, necessitats de producció de llet en PDI
NecPDI_PU_{endo}, necessitats per als canvis corporals en PDI
NecUFL, necessitats en UFL
NecUFL_creixement, necessitats de creixement en UFL
NecUFL_gest, necessitats de gestació en UFL
NecUFL_mant, necessitats de manteniment en UFL
NecUFL_P_I, necessitats de producció de llet en UFL

NI, nivell d'ingestió, % sobre pes viu
NI_{ref}, nivell d'ingestió de referència, % sobre pes viu, referit al xai de referència
NU_{calculat} Nitrogen urinari
PDI, proteïna digestible a l'intestí
PDI_{ut}, necessitats en PDI associades a la involució uterina
PDI_{VPR_{pot}}, variació potencial de reserves en g PDI/dia
PDIA, proteïna digestible a l'intestí que prové de l'aliment
PDI_{disp}, PDI disponible per cobrir necessitats productives i no productives
PDIE, proteïna digestible a l'intestí segons contingut energètic per a la síntesi microbiana al rumen
PDI_{ing}, PDI ingerida
PDIM, proteïna digestible a l'intestí que prové dels microbis (rumen)
PDIN, proteïna digestible a l'intestí segons contingut N per a la síntesi microbiana al rumen
PF, productes de la fermentació en els ensitjats
PI_{pic}, producció al pic de la lactació
PI_{pot}, producció de llet potencial
PI_{pot_305}, producció de llet d'una vaca a 305 dies de lactació
PI_{pot_mult}, producció potencial de llet per dia a una determinada setmana de lactació, múltiples
PI_{pot_prim}, producció potencial de llet per dia a una determinada setmana de lactació, primíparas
sg, setmana de gestació
Sg, taxa de substitució global farratge concentrat
sl, setmana de lactació
tg, taxa de greix en % o en g/kg
tp, taxa de proteïna en % o en g/kg
UE, unitat d'atipament (*encombrement*)
UEB, unitat d'atipament (*encombrement*) bovins
UEc, unitats d'*encombrement* concentrat
UEf, unitats d'*encombrement* farratge
UEL, unitat d'atipament (*encombrement*) llet
UEM, unitat d'atipament (*encombrement*) xais (*moutons*)
UFL, unitat farratgera llet
UFL_{VPR_{pot}}, variació potencial de reserves en UFL/dia
UFV, unitat farratgera carn (*viande*)
ΔdMO_{BPR}, és la variació en la dMO a causa del balanç proteic al rumen de la ració
ΔdMO_{CO}, és la variació en la dMO a causa de la proporció de concentrats a la ració
ΔdMO_{NI}, és la variació en la dMO a causa del nivell d'ingestió de la ració

LA PRODUCCIÓ DE LLET POTENCIAL I LA VARIACIÓ DE LES RESERVES CORPORALS

PRODUCCIÓ DE LLET AL LLARG DEL CICLE PRODUCTIU ANUAL

La producció de llet depèn de la capacitat de la glàndula mamària i dels nutrients disponibles. La glàndula es forma i durant el cicle gestació-lactació desenvolupa el seu teixit secretor, d'aquí la importància de mantenir un **període d'eixugat** per la reorganització. La síntesi de llet depèn de la disponibilitat de nutrients provinents dels aliments i eventualment complementats per la mobilització de les reserves corporals.

La producció potencial de llet (PI_{pot}) serveix per planificar el racionament, i la real (PI) ens serveix per fer un bon seguiment de la ració.

$$PI_{pot} = f(\text{potencial genètic, nombre de lactació, estat lactació, estat gestació}) + f(\text{condicions del lloc})$$

La producció màxima dins d'una lactació (PI_{pic}) la podem estimar a partir del control lleter:

$$\begin{aligned} & \text{Producció a 305 dies } (PI_{pot_305}) \\ & \text{Taxa de greix mitjana de la lactació } (tg), \text{ g/kg} \\ & \text{Taxa de proteïna mitjana de la lactació } (tp), \text{ g/kg} \end{aligned}$$

El càlcul de la producció prevista al pic:

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

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

A partir d'aquí podem calcular la producció potencial a qualsevol setmana de la lactació, producció que servirà per planificar el racionament; PI_{pot_prim} producció de llet en primíparas prevista a la setmana de lactació sl ; PI_{pot_mult} producció de llet en múltiples prevista a la setmana de lactació sl ; sg és la setmana de gestació.

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

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

La setmana de gestació la podem calcular a partir de la setmana de fecundació $sl_{fecundació}$

$$sg = (sl + 1) - sl_{fecundació}$$

La producció potencial diària a la setmana de lactació sl per als càlculs està expressada a 4% de tg i a 3,1% de tp .

Per a cada setmana de lactació es poden preveure també les taxes de greix i de proteïna, així com la matèria grassa i la matèria proteica totals, essent tg_{m_pot} la taxa de greix mitjana de la lactació i tp_{m_pot} la taxa de proteïna mitjana de l'explotació:

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

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

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

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

VARIACIÓ DE LES RESERVES CORPORALS

Inici lactació: flux metabòlic augmenta a causa de la mobilització de les reserves per tal de subministrar nutrients a la glàndula mamària per a la síntesi de llet (energia i també proteïnes).

A partir dels tres mesos de lactació: restauració progressiva de les reserves corporals, amb l'objectiu de que en el part hagi recuperat l'estat de condició corporal.

Aquest cicle de mobilització i recuperació s'ha d'integrar al racionament de vaques de llet, no només en les vaques de cria.

Mobilització total tres primers mesos de lactació: l'aportació d'energia va de 100 a més de 400 UFL i ho expressem així, **UFL_VPR_{pot}**, és la variació potencial de reserves i s'integra en la diferència entre les necessitats a partir de PI_{pot} i les aportacions de la ració. **UFL_VPR_{pot}** es calcula a partir de la condició corporal al part, calculant la condició corporal a la setmana de lactació per a la qual racionem o determinem la producció de llet potencial. En el postpart hi ha mobilització de reserves i, més enllà del pic hi ha reconstitució de reserves.

El model considera que l'amplitud de la mobilització augmenta amb la PI_{pic} i la condició corporal al part CC_{part} . La condició corporal va de 0 a 5.

Si $CC_{part} < 1,5$ no hi ha mobilització i $UFL_VPR_{pot} = 0$. El model està construït de manera que l'integral sobre el conjunt del cicle (52 setmanes) sigui igual a 0. Les quantitats d'energia mobilitzada després de la seua reconstitució són idèntiques.

El paràmetre **A** varia segons la paritat, i significa o caracteritza la intensitat de la variació de les reserves corporals, i el **B** modula la durada de la fase de mobilització, essent una funció inversa de la nota de la condició corporal al part, com més grassa la vaca la mobilització dura més.

$A = -9,5 + 0,4 \times PI_{pic} + 1,89 \times CC_{part}$ (primípara); $A = -13,2 + 0,4 \times PI_{pic} + 1,89 \times CC_{part}$ (múltipara)

$B = 1/CC_{part}$

K (paràmetre que serveix per obtenir un valor nul de la integral de UFL_VPR_{pot} durant les N setmanes de lactació (que fixen en 52)

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

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

Per altra banda, les variacions potencials de proteïna s'associen a les variacions d'energia, aproximadament hi ha una variació de 33 g PDI/UFL i una suplementació en les dues primeres setmanes de lactació associades a la involució uterina (PDI_{ut}), de manera que la variació potencial de proteïna a la setmana de lactació sl especificada en la variació energètica **PDI_VPR_{pot}** serà així:

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

PDI_{ut} igual a 100 g PDI/dia a la primera setmana i 50 g PDI/dia a la segona setmana de lactació.

EXEMPLES:

Per al càlcul de les necessitats les dades següents són necessàries.

Per a una vaca de 56 mesos d'edat, 700 kg **pes viu**, amb **pes** aproximat dels **vedells en néixer** de 42 kg, **PI_{pot_305}** = 9.200 kg, **tg_{mitjana}** = 3,9 %, **tp_{mitjana}** = 3,3 %, amb una condició corporal al part **CC_{part}** = 3.

Primer exemple, la vaca es troba a la segona setmana de lactació:

La producció màxima potencial diària al 4% tg i 3,1 % tp ($PI_{pic} = 40,04$ kg)

La producció diària al 4% tg i 3,1% tp a la setmana de lactació $sl = 2$ ($PI_{pot_mult} = 37,19$ kg)

La variació d'energia a causa de la mobilització/reconstitució serà:

$UFL_VPR_{pot} = 4,32$ UFL/dia, i la variació proteica serà:

$$PDI_VPR_{pot} = 192,69 \text{ g PDI/dia}$$

Això significa que la vaca *aporta* diàriament 4,32 UFL i 192,69 g PDI.

Segon exemple, la vaca es troba a la 25èna setmana de lactació, i es va fecundar a la 13ena setmana de lactació.

La setmana gestació (sg) calculada serà la 13èna.

La producció diària al 4% tg i 3,1% tp a la setmana de lactació sl = 25 ($PI_{pot_mult} = 28,81 \text{ kg}$)

La variació d'energia a causa de la mobilització/reconstitució serà:

$UFL_VPR_{pot} = -0,49 \text{ UFL/dia}$, i la variació proteica serà:

$$PDI_VPR_{pot} = -16,06 \text{ g PDI/dia}$$

Això significa que la vaca *necessita* diàriament per reconstruir 0,49 UFL i 16,06 g PDI.

EVOLUCIÓ DE LA CONDICIÓ CORPORAL

La capacitat d'ingestió de la vaca està lligada, diàriament, durant cada setmana de lactació al pes viu de la vaca adulta, a la producció diària durant la setmana i a la condició corporal determinada/calculada per a aquesta setmana de lactació.

La CC_{pot} a la setmana de lactació sl serà igual a:

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

A l'exemple i per a la segona setmana de lactació $CC_{pot} = 2,78$

I a la setmana 25 $CC_{pot} = 2,55$.

1 punt CC mobilitza o reconstitueix 206 UFL

NECESSITATS

ENERGIA

Les necessitats en energia (NecUFL) totals per dia, en UFL, són la suma de les següents parts:

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

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

Pv és el pes viu en kg

I_{act} és un índex de l'activitat de la vaca: estabulació travada (0,95), estabulació lliure (1), pastura pla (1,1), pastura zones muntanyoses o llargues distàncies (1,2), pastura muntanyes amb pendents altes (1,3).

Creixement: NecUFL_{creixement} són funció de l'edat (mesos) en particular en vaques primíparas, i, en general, per vaques amb menys de 40 mesos.

$$NecUFL_{creixement} = 3,14 - (0,077 \times edat)$$

$$\text{Producció de llet: NecUFL_PI} = \text{PI} \times (0,42 + (0,0053 \times (\text{tg} - 40)) + (0,0032 \times (\text{tp} - 31))$$

tg i tp en g/kg

$$\text{Necessitats de gestació: NecUFL_gest} = 0,000695 \times \text{Pv}_{\text{vedell}} \times \exp^{(0,116 \times \text{sg})}$$

PROTEÏNES

Per a vaques que produeixen PI_{pot} amb una $\text{PDI_VPR}_{\text{pot}}$ corresponent a un estat de lactació, l'eficiència proteica (EfPDI) té un valor de referència de 0,67. No obstant, tota diferència entre les necessitats lligades al potencial (PI_{pot} , $\text{UFL_VPR}_{\text{pot}}$ i $\text{PDI_VPR}_{\text{pot}}$) i les aportacions en PDI té influència sobre la producció i la composició de llet, i, en conseqüència, sobre l'EfPDI. L'eficiència o eficàcia d'ús és comuna a tots els processos de síntesi proteica. EfPDI d'una ració no es pot calcular més que al final del procés iteratiu, excepte en el cas en que les aportacions permetin cobrir les necessitats de producció potencial (situació de referència), o quan la ingestió de PDI i la producció de proteïnes a la llet són conegudes.

Les necessitats totals en proteïnes (NecPDI) són la suma dels següents conceptes:

$$\text{NecPDI} = \text{NecPDI_no productives} + \text{NecPDI_creixement} + \text{NecPDI_PI} + \text{NecPDI_gest}$$

Les necessitats no productives, ahora, són:

$$\text{NecPDI_no productives} = \text{NecPDI_PU}_{\text{endo}} + \text{NecPDI_P}_{\text{epidèrmiques}} + \text{NecPDI_PEF}$$

$\text{NecPDI_PU}_{\text{endo}}$ proteïnes endògenes *turn-over* corporal = **0,312 x Pv**; no depenen de l'eficiència proteica (EfPDI).

$$\text{NecPDI_P}_{\text{epidèrmiques}} \text{ proteïnes produccions epidèrmiques} = \mathbf{(0,2 \times \text{Pv}^{0,6})/\text{EfPDI}}$$

NecPDI_PEF proteïnes endògens fecals = **MSI x (5 x (0,57 + 0,0074 x MOND))**/EfPDI (no és possible calcular NecPDI_PEF independentment de la ració ingerida); MSI és la matèria seca ingerida, MOND és la matèria orgànica no digestible.

NecPDI_creixement són funció de l'edat, sobretot en primíparas, en mesos,

$$\text{Si edat} < 40, \text{NecPDI_creixement} = 0$$

$$\text{Si edat} > 40, \text{NecPDI_creixement} = (270 - 6,66 \times \text{edat})/\text{EfPDI}$$

NecPDI_PI , són les necessitats de produir llet $\text{NecPDI_PI} = (\text{PI} \times \text{tp})/\text{EfPDI}$, tp en g/kg

NecPDI_gest , són les necessitats de gestació

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

Per calcular les necessitats en PDI d'una vaca amb un règim determinat, s'han de calcular per a un equilibri que permeti la producció MP potencial, on EfPDI = 0,67. En el racionament, si les aportacions PDI i UFL no cobreixen les necessitats calculades a PI_{pot} , la resposta marginal de la secreció de proteïnes s'estima a partir de les equacions del balanç:

El balanç energètic està lligat a la ingestió d'energia (UFL x MSI), a la variació potencial de les reserves corporals ($\text{UFL_VPR}_{\text{pot}}$) i a les necessitats teòriques o potencials calculades:

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

De la mateixa manera el balanç proteic:

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

Aquesta resposta permet calcular la producció MP de la llet, i, en conseqüència, la EfPDI en el sí d'una ració.

MINERALS

El Ca, el P i el Mg tenen uns coeficients d'absorció de 0,40, 0,65 i 0,16, respectivament. Les necessitats en Ca absorbible són:

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

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

Després si ho expressem en Ca les NecCa = $\text{NecCa}_{\text{abs}}/0,40$

Les necessitats en P absorbible són:

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

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

Com abans amb el Ca, les necessitats en P seran NecP = $\text{NecP}_{\text{abs}}/0,60$

Les necessitats en Mg absorbible són:

$$\text{NecMg}_{\text{abs}} = 0,011 \times \text{Pv} + \text{NecMg}_{\text{abs_creixement}} + 0,14 \times \text{PI} + 0,30 \text{ (darrer terç de la gestació)}$$

$$\text{NecMg}_{\text{abs_creixement}} = 0,4 \times \text{kg d'augment de pes}$$

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

RESPOSTES A LA PRODUCCIÓ

El sistema INRA permet preveure la ingestió i la producció. Els balanços en energia i proteïna teòrics corresponen a les diferències entre aportacions i necessitats lligades a la producció de llet, incloent-hi les variacions potencials de les reserves corporals, tant positives com negatives, tal com ja hem explicat:

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

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

Aquests balanços es calculen per preveure la resposta de la producció de llet segons el seu potencial, però no tenen res a veure sobre el balanç final, que depèn de la ració i de la resposta del animal.

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

$$\text{CPDI (coeficient de resposta)} = (0,3 \times \text{balPDI}_{\text{teòric}}) - (0,0001 \times \text{balPDI}_{\text{teòric}}^2)$$

PI_{pot} kg/dia; tp_{pot} g/kg, i balanços en g/dia

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

$$PI = PI_{pot} + resp_PI$$

$$MP = PI_{pot} \times tp_{pot} + resp_MP$$

$$tp = MP/PI$$

INGESTIÓ

La capacitat d'ingestió d'una vaca en producció és funció del pes viu, de la producció potencial de llet per dia a la setmana en qüestió, de la condició corporal i està afectada per diferents índexs.

$$CI = (14,25 + 0,015 \times (Pv - 600) + 0,11 \times PI_{pot} + (2,5 - CC)) \times I_Cl_{lact} \times I_Cl_{gest} \times I_Cl_{maduresa} \times I_Cl_{PDI}$$

I_Cl_{lact} , índex efecte inici lactació = $a + (1 - a) \times (1 - \exp^{(-0,25 \times sl)})$, $a = 0,6$ (primíparas), $a = 0,7$ (multíparas)

I_Cl_{gest} , índex efecte gestació = $0,8 + 0,2 \times (1 - \exp^{(-0,25 \times (40 - sg)})$

$I_Cl_{maduresa}$, índex efecte edat (maduresa) = $-0,1 + 1,1 \times (1 - \exp^{(-0,08 \times edat)})$, edat en mesos

I_Cl_{PDI} , índex específic contingut proteïnes = $0,91 + 0,115 / (1 + \exp^{(0,13 \times (90 - (PDI/UFL))})$, (basat en PDI/UFL en el sí de la ració).

VALOR D'ATIPAMENT DEL CONCENTRAT

Si el valor d'atipament d'un farratge és una dada fixa, el valor d'atipament d'un concentrat per a les vaques lleteres és una funció complexa que combina els valors d'atipament dels farratges de la ració i del concentrat, així com els estats energètic i proteic de la vaca que rep el règim alimentari. El valor d'atipament del concentrat és el producte de la taxa de substitució global del farratge al concentrat ($Sg(PCO)$) i del valor d'atipament mitjà ponderat dels farratges. PCO és la proporció de MS concentrats a la ració. La taxa de substitució és la quantitat de MS farratgera que desplaça en el sí d'una ració en incorporar un kg de MS concentrat. La vaca per exemple podria menjar 12 kg MS d'un raigràs fulla si se'li subministra *ad libitum*, si a la vaca se li subministra un kg de pinso, es menjarà el pinso i deixarà de menjar una part del farratge que si fos l'únic aliment en menjaria 12 kg. Si, suposem que en deixa de menjar 0,5 kg, la taxa de substitució seria $0,5/1 = 0,5$.

La taxa de substitució de les vaques lleteres depèn principalment dels estats energètic i proteic. És una funció logística (forma sigmoide) que simula l'augment de la taxa de substitució quan augmenta el balanç energètic; el valor mínim S_0 correspon al valor d'atipament físic del concentrat (bVEc, a taules) (veure document sobre la valoració nutritiva) i el valor màxim S correspon a una substitució energètica de 1 UFL de farratge per 1 UFL de concentrat. El punt d'inflexió (PI) és modulad per la relació PDI/UFL, la substitució serà, per tant, més feble quan la densitat proteica de la ració és alta.

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

$$S_0 = bVEc/UFL$$

$$S = UFLc/UFLf$$

$$d = ((S - S_0) / (PI_{inflexió} - S_0)) - 1$$

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

PDI/UFL és la relació entre els continguts de la ració.

R_{PCO} representa la proporció teòrica de concentrat (PCO) necessària per atendre l'equilibri entre aportacions i necessitats energètiques lligades a la producció de llet potencial, un cop restada la variació potencial d'energia de les reserves corporals (UFL_VPR_{pot} en UFL/dia). El que es pretén és calcular R_{PCO} . Els càlculs d'una ració, pel que fa a la capacitat d'ingestió, per tal d'acomplir amb les necessitats

energètiques i proteiques, comencen amb $PCO = 0$, si amb els farratges sols s'acompleixen les necessitats $R_{PCO} = 0$. A partir d'aquí, en el cas de no abastar amb els farratges, es va incorporant concentrats ($PCO > 0$) fins arribar a un punt en què $R_{PCO} = PCO$ i s'acompleixin les necessitats. Evidentment, la incorporació de concentrats deprimeix la digestibilitat i s'entra en múltiples iteracions.

Les reserves corporals al postpart són importants, ja que quan fon greixos la vaca aporta UFL i aquesta aportació farà que el valor R_{PCO} disminueixi del que seria en altres condicions. Per això al postpart la taxa de substitució simulada és més alta tot i un balanç energètic negatiu en aquest període.

El valor de R_{PCO} es calcula de la següent 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} amb bons farratges i vaques amb baixa producció o seques pot ser negatiu, simulant valors d'atipament alts en els concentrats.

Per a seques es considera $Pl_{pot} = 0$. El valor de $Sg(R_{PCO})$ és un cas particular de $Sg(PCO)$ amb $PCO = R_{PCO}$. Per tant l'equació,

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

Quedarà així:

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

Un cop s'hagi arribat al punt de retrobament, la ració té una taxa de substitució global $Sg(PCO)$ on PCO és R_{PCO} i el valor d'atipament de la quantitat de concentrat a la ració és $UEc = UEf \times Sg(PCO)$.

UEc varia segons els tipus de farratges i les proporcions i composicions dels concentrats a la ració. Amb règims rics en proteïnes, Sg augmenta menys ràpid amb el nivell d'aportacions de concentrats que en els règims pobres en proteïnes. De la mateixa manera, amb un farratge molt energètic (EBM) el valor d'atipament del concentrat té una tendència a augmentar més ràpidament amb el nivell d'aportacions de concentrat que amb un farratge de menys qualitat.

Per calcular la MSI (kg MS/dia) la fórmula general del sistema d'UE és la que s'empra:

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

En els següents capítols que dediquem a l'aplicació *RACIONAMENT DE VAQUES DE LLET* anirem explicant els diferents càlculs.

BASES DEL RACIONAMENT

Primer calculem les necessitats de la vaca (UFL, PDI, Ca i P) i la capacitat d'ingestió en UE. Això serien valors teòrics o objectius. Després tindrem la valoració dels ingredients disponibles (farratges, concentrats i minerals) amb les restriccions fisiològiques pròpies i les restriccions de quantitats imposades, bé per la pràctica o bé per decisió del titular. Dels ingredients també disposarem dels preus o dels costos de producció.

L'objectiu és formular una ració al mínim cost. Si les aportacions igualen les necessitats i la ració és al mínim cost, la solució seria fàcil de trobar si tot fos sumar, restar, multiplicar i dividir. Però fa temps que sabem que la realitat és diferent.

La capacitat d'ingestió va canviant a causa del contingut PDI/UFL, i els continguts PDI i UFL no són la suma producte de les quantitats d'ingredients pel valor nutritiu dels mateixos en PDI i UFL, sinó que segons el nivell d'ingestió, que a la vegada canvia a mesura que entra concentrat a la ració, l'eficiència de transformació de la proteïna varia i la digestibilitat de la matèria orgànica també varia a causa del nivell d'ingestió, la quantitat o PCO de concentrat i del balanç proteic al rumen (BPR), de tal manera que tot es va refent a mesura que van encaixant les aportacions i les necessitats (variables).

Abans d'entrar a l'aplicació tractarem dos temes importants per tal de plantejar el racionament correctament, un és el de les **interaccions digestives** i l'altre l'eficàcia o **eficiència de les PDI** per a les funcions de proteosíntesi.

INTERACCIONS DIGESTIVES

Fins ara empràvem la depressió de la digestibilitat, que era funció de la proporció de concentrats a la ració (PCO) i de les necessitats de l'animal (manteniment i producció). En el nou sistema s'intenta quantificar els principals factors que donen lloc a les interaccions digestives. La *DMO* és el millor criteri per conèixer les interaccions.

Les interaccions tenen lloc, principalment, al **rumen**, i les causes:

- Si el **nivell d'ingestió (NI)** és alt, la velocitat de pas és alta, el temps de permanència s'escurça i, per tant, la disponibilitat de nutrients per als microorganismes és menor.
- Si la **proporció de concentrats (PCO)** és alta, baixa el pH ruminal i s'inhibeixen els microorganismes que degraden la cel·lulosa.
- La **disponibilitat de N** al rumen, **que és balanç proteic del rumen (BPR)**, canvia l'activitat microbiana.

En el sistema INRA 1978-2007 la **disponibilitat N** i l'activitat microbiana es quantificava amb PDIN i PDIE, ara a INRA 18, és el **balanç proteic del rumen**:

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

Les $\text{MNT}(\text{no amoniacals})_{\text{duodè}}$ són les MNT alimentàries no degradades més les MNT microbianes més les MNT endògenes.

BPR és un indicador de la diferència entre la síntesi proteica microbiana permessa per la MNT degradable disponible al rumen i la que permetria l'energia disponible a la MOF al rumen. Anteriorment empràvem al racionament un índex $(\text{PDIN} - \text{PDIE})/\text{UF}$. Ara **BPR és additiu i mesurable**, i és un criteri pertinent no només per avaluar l'equilibri entre N degradable i energia disponible al rumen, sinó també per integrar els efectes quantitatius de les **interaccions energia x nitrogen** en els processos digestius, així com el creixement microbià. També s'empra per predir les pèrdues urinàries de N.

EFFECTE DEL NIVELL D'INGESTIÓ A LES INTERACCIONS DIGESTIVES

dMO_m és la digestibilitat de la matèria orgànica d'una ració, mesurada *in vivo*, i intra-experiències s'obté $\text{dMO}_m = 76 - 2,74 \times \text{NI}$, NI és el nivell d'ingestió de la ració, en % del pes viu.

Cada ingredient farratger té un valor NI_{ref} a les taules i tots els concentrats tenen $\text{NI}_{\text{ref}} = 2$. La ració (combinació de farratges i concentrats) tindrà un valor NI_{ref} igual a suma producte de les quantitats i els NI_{ref} . Per exemple, $\text{NI}_{\text{ref}} = 1,77$.

La vaca menjarà d'aquesta ració, per exemple, 24,52 kg MS i si la vaca pesa 650 kg, el NI de la ració serà:

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

Hi ha una diferència evident entre el calculat i el real, per tant, la interacció sobre la dMO s'expressa així: $\Delta dMO_{NI} = -2,74 \times (NI - NI_{ref})/100 = -2,74 \times (3,77 - 1,77)/100 = -0,054806366$, valor que resta a la dMO_m

EFFECTE DE LA PROPORCIÓ DE CONCENTRAT A LES INTERACCIONS DIGESTIVES

Es tracta de quantificar l'efecte de la proporció de concentrat (PCO, entre 0 i 1) sobre les interaccions digestives. Experimentalment l'efecte de PCO sobre la dMO de la ració s'expressa així:

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

Si a la ració 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

EFFECTE DEL BALANÇ PROTEIC DEL RUMEN A LES INTERACCIONS DIGESTIVES

El balanç proteic al rumen:

$BPR = MNT_{ingerida} - [MN_{alim_intestí} + MN_{microbiana_intestí} + MN_{endogena_intestí}]$, és a dir, **BPR és la MN que no arriba a l'intestí.**

1. La $MNT_{ingerida}$ és un valor que s'obté dels càlculs de la ració, i a l'exemple és igual a **157,21**
2. $MN_{alim_intestí}$ (Proteïnes alimentàries no fermentades al rumen) = $MNT_{ingerida} \times (1 - DT_N)$
 - a. DT_N , degradabilitat de les proteïnes, és un valor experimental per a cada ingredient, per tant, els tenim dels que entren a la ració, i la DT_N de la ració és 0,67.
 $MN_{alim_duodè} = 52,30$
3. $MN_{microbiana_intestí} = 41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times MOR_{D_rumen} + 8,40 \times PCO$
 - a. MOR_{D_rumen} , és la matèria orgànica digestible al rumen, o sigui la MOF, la matèria orgànica fermentescible, i és un valor que s'obté de la composició de la ració, ja que cada ingredient té el seu valor MOF, i en el nostre cas és igual a 588,83

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

4. $MN_{endògena}$ es considera un valor fixo igual a **14,20**
5. $BPR = 157,21 - (52,30 + 87,20 + 14,20) = 3,52$

El BPR calculat a la ració (cada ingredient ve caracteritzat pel seu valor BPR) en el nostre cas és igual a 11,85 (BPR_{ref}).

La interacció de la BPR sobre la dMO: $\Delta dMO_{BPR} = 0,060 \times (BPR - BPR_{ref})/100 = 0,060 \times (3,52 - 11,85)/100 = -0,005$

Les tres interaccions seran $-0,054806366 - 0,0479722 - 0,005 = -0,107778566$

Aquest valor farà que la digestibilitat de la MO corregida per les interaccions $dMO_c = dMO + (\Delta dMO_{NI} + \Delta dMO_{CO} + \Delta dMO_{BPR}) = dMO - 0,107778566$.

La ració formulada té una dMO calculada ja que cada ingredient té la seva dMO, i en l'exemple serà igual a 0,79, per tant $dMO_c = 0,79 - 0,107778599 = 0,68$. Evidentment, aquí s'entra directament a les iteracions ja que la realitat no es basa en $dMO = 0,79$ sinó en $dMO_c = 0,68$.

L'equació de restricció energètica del plantejament de la ració seria la següent:

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

Les aportacions energètiques han de ser igual a les necessitats calculades. Les NecUFL s'han calculat amb una dMO = 0,79, i ara la dMOc va variant en funció del NI, de PCO i de BPR, per tant a la restricció energètica podem posar el següent:

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

EFICÀCIA DE LA SÍNTESI PROTEICA EN LACTACIÓ

En primer lloc necessitem conèixer la PDI disponible per cobrir les necessitats no productives i les productives.

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

PDI_{ing} és la que una vegada formulada la ració obtenim directament dels càlculs (suma producte de les quantitats de cada ingredient i els valors PDI dels mateixos), a l'exemple $PDI_{ing} = 2.327,13$ g

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

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

L'EfPDI és igual a **despeses proteiques/PDI_{disp}**

Hi ha diverses maneres de calcular la EfPDI d'una ració, n'expliquem dues.

1. Mètode A

- Primer s'ha de calcular el balanç energètic de la ració (balUFL), que és igual a les aportacions UFL de la ració més les *aportacions* de les reserves corporals (UFL_VPR que poden ser + o -) menys les necessitats UFL calculades: a l'exemple, $balUFL = 28,63 + (-0,69) - 25,08 = 2,86$ UFL.
- Si el balanç energètic és positiu les proteïnes es fixen (*no s'empren per generar energia*) i el balanç proteic (balPDI) esdevé una despesa, i, en conseqüència EfPDI es calcula així:

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

$P_{EF} = 5,7 + 0,0074 \times MOND$; MOND, matèria orgànica no digestible, igual a $(MO - MODc)$; MODc és la MOF corregida per les interaccions (NI, PCO i BPR). MO la traiem directament dels càlculs ($MO = 853,48$), la MODc és la MOF (directament dels càlculs) corregida per dMOc, $MO - MOND = 853,48 - 588,83 \times dMOc/dMO = 853,48 - 588,83 \times 0,69/0,79 = 339,18$ g PDI, i $P_{EF} = 5,7 + 0,0074 \times 339,18 = 8,2$ g PDI

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

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

$$balPDI = \text{Aportacions PDI} + \text{aportacions reserves corporal (PDI_VPR)} - \text{Necessitats calculades} = 2.327,13 + (-22,76) - 1.973,87 = 330,5 \text{ g PDI}$$

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

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

- Si el balanç energètic és negatiu, el balanç proteic (balPDI) és una aportació i els eu valor absolut s'ajunta a les PDI_{ing} , i, en conseqüència EfPDI es calcula així:

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

2. Mètode B.

Hi ha una ajustament exponencial entre EfPDI i la concentració en PDI de la ració:

$EfPDI = EfPDI_{100} \times \exp^{-b \times (PDI - 100)}$, on $EfPDI_{100}$ és l'eficàcia quan la PDI de la ració és 100 g/kg MS, PDI és el contingut en g/kg MS.

Per a les vaques lleteres l'equació és la següent: **$EfPDI = 0,67 \times \exp^{-0,007 \times (PDI - 100)}$**

En l'anterior aplicació es considerava una eficiència constant i, per tant, l'equació era:

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

On les aportacions havien d'estar entre dos límits a efectes de facilitar els càlculs. Per exemple, $a = 0,05$, les aportacions han d'estar entre el 95% i el 105% de les necessitats.

Ara hem vist que l'eficiència canvia en el sí de la ració. I, també, a efectes de facilitar els càlculs es manté posar un rang (a) i afegim el càlcul de necessitats amb EfPDI. No obstant, ho simplifiquem de la següent manera:

En el càlcul de necessitats PDI hem introduït les necessitats relatives a les proteïnes endògens fecals que depenen de la matèria seca ingerida i de la MO no digestible, afectada també per la depressió de la digestibilitat ($NecPDI_{PEF} = MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MOND)) / EfPDI$), però per a una $EfPDI = 0,67$ les necessitats associades a la proteïna endògena fecal tenen una mitjana de 19,8, que és el valor que fem per al càlcul.

En la formació de proteïnes productives i no productives (excepte les endògenes fecals) es considera per al càlcul de necessitats $EfPDI = 0,67$. Hi afegim a les necessitats les $NecPDI_{PEF}$ amb la MSI real, l' $EfPDI$ real i la MOND corregida, per tant les restriccions de la proteïna queden així:

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

De fet, a l'aplicació el valor de les $NecPDI$ calculades es disgrega en dos sumatoris: $NecPDI_{PU_{endo}}$ que no està afectat per l'eficiència $EfPDI$, i la resta ($NecPDI - NecPDI_{PU_{endo}}$) que tota ella està afectada per l' $EfPDI$, i, per tant, a la restricció aquesta resta es multiplica per 0,67 i es divideix per $EfPDI$ de la ració, que s'obté iterativament.

BPR, BALANÇ PROTEIC AL RUMEN

A l'aplicació el càlcul del BPR_{ref} es fa com als altres nutrients, i pel que fa a les restriccions posem la següent restricció:

$$0 \leq \sum_i Xi \times BPR_{refi} \leq 30$$

Segons INRA-2018, el valor BPR no ha de ser gaire alt ja que s'augmentarien les pèrdues en N urinari; de fet, com abans amb PDIN i PDIE, es tendia a que fossin iguals, dins d'una tolerància que facilités els càlculs, la situació ideal seria obtenir BPR pròxim a 0. Per a les vaques d'alt nivell productiu s'aconseja un rang de - 8 a 0, i per animals poc productius de - 15/-20 a - 8.

LA RESTRICCIÓ DE LA INGESTIÓ

En el càlcul teòric de la CI no hem inclòs l'índex $I_{CI_{PDI}}$ i en les restriccions l'afegim a la CI prèviament calculada, i també donem un marge entre 90% i 110% de la CI.

El valor total en UE que volem que estigui entre aquests dos límits és la suma de les aportacions en UE dels farratges (UE) + aportacions en UE dels concentrats

Suposem un sol farratge (UEf = 1,1) i un sol concentrat: el farratge *ad libitum* i com a únic aliment podria ser consumit en una quantitat igual CI/UEf, si CI = 17 UE, $17/1,1 = 15,45$ kg MSf total i aportaria $15,45 \times 1,1 = 16,995$ UE

La ració que cobreix les necessitats energètiques conté 18 kg MS està composta per 20% de Co i 80% Fa, i la taxa de substitució és igual a 0,30 kg MSf/kg MSc

Aportacions UE del farratge = $(1 - 0,20) \times 20 \times \text{UEf} = (1 - 0,20) \times 18 \times 1,1 = 15,84$ UE

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

Les aportacions UE totals seran 17,16 UE.

[Aportacions UEf + aportacions UEf x (PCO/(1 - PCO) x Sg)] aquest valor ha d'estar entre els límits establerts.

CALCI, FÒSFOR I MAGNESI

Les necessitats en Ca, P i Mg tenen un sumand que és funció de la MSI, en el càlcul hem introduït una fórmula per calcular la capacitat d'ingestió en MS, i en posar les restriccions s'ajusten les necessitats a la MSI de la ració calculada.

La CI en MS = $0,372 \times \text{PI}_{\text{pot}} + 0,0968 \times \text{Pv}^{0,75} \times (1 - \exp^{-0,192 \times (\text{sl}+3,67)})$

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, CHAMPICIAUX P, AGABRIEL J, ANDRIEU J, AUFRÈRE J, MICHALET-DOREAU 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. Préviation 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 études, 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.** Préviation de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Tables de préviation 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-DOREAU 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-DOREAU 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. 6^a 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 edición. 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.