

Grup de remugants "Ramon Trias"

Racionamiento alimentario de vacas lecheras

Basado en INRA-2018

Antoni Seguí Parpal
1 de marzo de 2020

PRINCIPIOS DEL RACIONAMIENTO

La aplicación *Racionamiento vacas de leche 2020* tiene la misma estructura que la aplicación de esta web, a la que hemos incorporado y, en muchos casos, rehecho las fórmulas o ecuaciones de las necesidades, y hemos preparado los cálculos de las iteraciones a las novedades INRA-2018.

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)
MSVIIm, 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
PDIdisp, 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
Plpic, producción en el pico de la lactación
Plpot, producción de leche potencial
Plpot_305, producción de leche de una vaca a 305 días de lactación
Plpot_mult, producción potencial de leche por día en una determinada semana de lactación, múltiparas
Plpot_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 (Plpot) sirve para planificar el racionamiento, y la real (Pl) nos sirve para hacer un buen seguimiento de la ración.

$Pl_{pot} = f$ (potencial genético, número de lactación, estado lactación, estado gestación) + f (condiciones del lugar)

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

Producción a 305 días (Plpot_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:

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

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

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

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

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

La semana de gestación la podemos calcular a partir de la semana de fecundación sl_{fecundación}

$sg = (sl + 1) - sl_{fecundación}$

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:

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

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

$M_{g_{pot}} = t_{g_{pot}} \times Pl_{pot_mult}$ (o Pl_{pot_prim})

$M_{p_{pot}} = t_{p_{pot}} \times Pl_{pot_mult}$ (o Pl_{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.

$A = -9,5 + 0,4 \times Pl_{pico} + 1,89 \times CC_{parto}$ (primíparas); $A = -13,2 + 0,4 \times Pl_{pico} + 1,89 \times CC_{parto}$ (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 (Plpot_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 $\text{PDI}_{\text{VPRpot}}$ 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} , $\text{UFL}_{\text{VPRpot}}$ y $\text{PDI}_{\text{VPRpot}}$) 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:

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

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

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

$\text{NecPDI}_{\text{P}_{\text{EF}}}$ proteínas endógenas fecales = **MSI x (5 x (0,57 + 0,0074 x MOND))**/EfPDI (no es posible calcular $\text{NecPDI}_{\text{P}_{\text{EF}}}$ 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 $EfPDI = 0,67$. 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:

$$balUFL_{teórico} = (UFL \times MSI) + UFL_VPR_{pot} - NecUFL_{pot}$$

De la misma manera el balance proteico:

$$balPDI_{teórico} = (PDI \times MSI) + PDI_VPR_{pot} - NecPDI_{pot}$$

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:

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

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

Después si lo expresamos en Ca las $NecCa = NecCa_{abs} / 0,40$

Las necesidades en P absorbible son:

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

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

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

Las necesidades en Mg absorbible son:

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

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

$$NecMg = NecMg_{abs} / 0,16$$

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:

$$balUFL_{teórico} = (UFL \times MSI) + UFL_VPR_{pot} - NecUFL_{pot}$$

$$balPDI_{teórico} = (PDI \times MSI) + PDI_VPR_{pot} - NecPDI_{pot}$$

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.

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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 (Sg (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 le 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.

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

$$S_0 = bVEC/UEf$$

$$S = UFLc/UFLf$$

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

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

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

R_{PCO} 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 $P_{\text{ipot}} = 0$. 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 proteosíntesi.

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 (PDIN - PDIE)/UFL. Ahora **BPR es aditivo y medible**, y es un criterio pertinente no sólo para evaluar el equilibrio entre N degradable y energía disponible en el rumen, sino también para integrar los efectos cuantitativos de las interacciones 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 N_{ref} en las tablas y todos los concentrados tienen N_{ref} = 2. La ración (combinación de forrajes y concentrados) tendrá un valor N_{ref} igual a suma producto de las cantidades y los N_{ref}. Por ejemplo, N_{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: $\Delta dMO_{NI} = -2,74 \times (NI - N_{ref})/100 = -2,74 \times (3,77 - 1,77)/100 = -0,054806366$, 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} x (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 = $41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times \text{MORd_rumen} + 8,40 \times \text{PCO}$
 - 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

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

4. MN endógena se considera un valor fijo igual a 14,20
5. $\text{BPR} = 157,21 - (52,30 + 87,20 + 14,20) = 3,52$

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:

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

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 $\text{dMO}_c = \text{dMO} + (\Delta \text{dMO_NI} + \Delta \text{dMO_CO} + \Delta \text{dMO_BPR}) = \text{dMO} - 0,107778566$.

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 $\text{dMO}_c = 0,79 - 0,107778566 = 0,68$. Evidentemente, aquí se entra directamente en las iteraciones ya que la realidad no se basa en $\text{dMO} = 0,79$ sino en $\text{dMO}_c = 0,68$.

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

$$\sum_i X_i \times \text{UFL}_i = \text{NecUFL}$$

Las aportaciones energéticas deben ser igual a las necesidades calculadas. Las NecUFL se han calculado con una $\text{dMO} = 0,79$, 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:

$$\sum_i X_i \times \text{UFL}_i = \text{NecUFL} \times \left(\frac{\text{dMO}}{\text{dMO}_c} \right)$$

EFICACIA DE LA SÍNTESIS PROTEICA EN LACTACIÓN

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

$$\text{PDI}_{\text{disp}} = \text{PDI}_{\text{ing}} - \text{NecPDI}_{\text{PU}_{\text{endo}}}$$

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 $\text{PDI}_{\text{ing}} = 2.327,13 \text{ g}$

$$\text{NecPDI}_{\text{PU}_{\text{endo}}} = 0,312 \times \text{Pv} = 0,312 \times 650 = 202,8 \text{ g}$$

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

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:

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

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:

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

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.

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

LA APLICACIÓN RACIONAMIENTO VACAS DE LECHE 2020

La aplicación *Racionamiento vacas de leche 2020* está configurada igual que la anterior aplicación sobre *Racionamiento* que hay en la web dentro del archivo *Aplicaciones informáticas*. Las novedades son las explicadas en el texto anterior y que iremos viendo a continuación plasmadas en la aplicación.

Consta de los siguientes hojas; El grupo 0: **Tabla de Forrajes, Tabla de Concentrados, Tabla de Minerales**; el grupo para el cálculo de una ración: **I_Necesidades, II_Plantear Ración, III_Ración calculada, IV_Respuestas**; y unas hojas auxiliares para completar y/o analizar el proceso: dentro **II_Plantear Ración** hemos añadido dos, **II_1_Pontencialidad forrajes** y **II_2_Comprobar una ración**, y dentro **III_Ración calculada** hay una, **III_1_Redistribución Ración**. También hay cuatro hojas de cálculos: CálculosVL, CálculosRC, Parámetros leche y Criterios.

Tabla de Forrajes

Los cambios se deben a las nuevas unidades y nutrientes que serán necesarios para la optimización de la ración.

Nombre	MS %	UFL	UFV	MNT_PB	PDIA	PDI	BPR	UEL	UEB	UEM	NIref	dMO	MOD	EE	FB	NDF	ADF	Cenizas	Ca	P	NH ₃	Cl	K	Na	S	Co	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn	VitA	VitD	VitE	As	OT.N	PF	MOF		
VERDE (regado) ramoneo Alpacabito / ramoneo	86,00	0,98	0,47	500	37	84	18	0,58	0,58	0,58	0,75	0,76	0,90	41	398	513	260	145	0,90	0,30																				
VERDE (regado) ramoneo Alpacabito / ramoneo	85,00	0,90	0,30	300	34	86	20	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	40	390	500	250	140	0,80	0,20																				

Todos los alimentos tanto forrajeros como concentrados están actualizados con la aplicación *Valoración Nutritiva GR 2020*.

Las columnas son las siguientes:

Nombre	Forraje, verde, seco o ensilado
MS %	MS en%
UFL	Unidad forrajera leche
UFV	Unidad forrajera carne "viande"
MNT_PB	g materia nitrogenada total o proteína bruta/kg MS
PDIA	g proteína digestible intestinal alimentaria/kg MS
PDI	g proteína digestible intestinal/kg MS
BPR	Balance proteico en el rumen, g/kg MS
UEL	Unidad de repleción "encombement" leche
UEB	Unidad de repleción "encombement" vacuno
UEM	Unidad de repleción "encombement" ovino
NIref	Nivel ingestión de referencia% peso vivo
dMO	Digestibilidad de la materia orgánica
MOD	Materia orgánica digestible g/kg MS
EE	Extracto etéreo (grasas totales), g/kg MS
FB	Fibra bruta, g/kg MS
NDF	Fibra neutro detergente, g/kg MS
ADF	Fibra ácido detergente, g/kg MS
Lignina	ADL, lignina, g / kg MS
Cenizas	g/kg MS
Ca	Calcio, g/kg MS
P	Fósforo, g/kg MS

Mg	Magnesio, g / kg MS
Cl	Cloro, g / kg MS
K	Potasio, g/kg MS
Na	Sodio, g/kg MS
S	Azufre, g/kg MS
Co	Cobalto, mg/kg MS
Cu	Cobre, mg/kg MS
Mo	Molibdeno, mg/kg MS
Yodo	Yodo, mg/kg MS
Fe	Hierro, mg/kg MS
Mn	Manganeso, mg/kg MS
Se	Selenio, mg/kg MS
Zn	Zinc, mg/kg MS
Vit A	Vitamina A, UI/kg MS
Vit D	Vitamina B, UI/kg MS
Vit E	Vitamina E, UI/kg MS
AG	Ácidos grasos, g/kg MS
DT_N	Degradabilidad proteica en el rumen
PF	Productos de la fermentación, g/kg MS
MOF	Materia orgánica fermentescible, g/kg MS

Las tablas de concentrados y de minerales tienen la misma estructura.

I Necesidades

Lo que queda a la vista, a la izquierda está la entrada de datos de una explotación (que también incluye dos casillas comunes (MS forrajera, % mínimo a la ración; Límites de tolerancia (%) en el cumplimiento de las necesidades proteicas), a la derecha los datos para una vaca, de manera individual. Más a la derecha hay unas indicaciones y un cuadro para dirigir las entradas de datos con respecto al intervalo entre partos, la semana de lactación y la de gestación.

Debajo del apartado de los datos de una explotación sale un cuadro relativo a los resultados o Necesidades, que es común a la explotación y la vaca de manera individual, según hayamos seleccionado el tipo de racionamiento. Todo esto lo iremos explicando.

En las casillas de las filas 14 a 16 tenemos la opción de elegir el % mínimo de MS forrajera, y los límites de tolerancia en los cálculos de PDI y Ca y P. Y también hay una casilla *EfPDI*, que le damos el valor 0,67 que es la eficiencia de uso de las proteínas para el cálculo de necesidades, que como ya hemos explicado cambia en el seno de cada ración.

MS forrajera,% mínimo en la ración	50
Límites de tolerancia (%) en el cumplimiento necesidades proteicas	12,5
EfPDI teórica	0,67

Los resultados se generan cuando hemos elegido el grupo o las necesidades individuales con el desplegable:

Los resultados van directamente a la hoja II_Plantear Ración.

Antes explicaremos la entrada de datos para una vaca, ya que hay casillas calculadas en función del intervalo entra partos, la semana de lactación, la semana de gestación, etc., que son un poco complicadas de entender.

Datos para una vaca en lactación		
Multíparas <input type="button" value="v"/>		
Producción a 305 días		9.500
Tasa de grasa (%)		3,9
Tasa de proteína (%)		3,3
Peso vaca adulta (kg)		650
Edad en meses		36
Condición corporal vaca seca al parto		3,00
Peso ternero al nacimiento		42
Intervalo entre partos (días)		420,00
Semana lactación-----> <i>Valor entre 1 y</i>	<i>52</i>	24
Semana fecundación		15
Semana gestación calculada en lactación		9
Semana en gestación período seco		
Condición corporal calculada		2,51
Producción máxima potencial diaria 4% (pico)		41,35
Producción diaria en la semana de lactación al 4% y 3,1		30,46
<i>EfPDI teórica</i>		0,67
<i>UFL_VPR pot</i>	<i>Variación reservas corporales UFL</i>	-0,52
<i>PDI_VPR pot</i>	<i>Variación reservas corporales PDI</i>	-17,00
<i>Semana lactación-----></i>		24
<i>Semana gestación ----></i>		9,00

Es importante porque en ella está la esencia del racionamiento. Racionar para una determinada producción no nos dice gran cosa sobre las características de la vaca, ni a qué estado de la lactación y gestación está.

Una vaca pertenece a una explotación: media lactación a 305 días, tasas de grasa y de proteína, intervalo entre partos, una media de condición corporal al parto - es un dato que se puede determinar

fácilmente, incluido se puede simular -, también sabemos o podemos saber el peso medio de los terneros al nacer, y también podemos considerar su historial o la genealogía.

Con los datos que entramos podemos seguir la vaca a lo largo del ciclo anual. En primer lugar sabemos si pertenece a una estabulación libre, trabada, pasto, etc., y esto hace que las necesidades en UFL sean diferentes. También si es primípara o múltipara. Debemos introducir el peso de la vaca adulta, la lactación a 305 días y la tasa de grasa y de proteína, los cálculos nos llevan a la producción de leche al 4% de grasa y 3,1% de proteína. Con estos datos se determina la producción en el pico de la lactación, que será el valor a partir del cual podremos determinar otras producciones semana de lactación tras semana.

La edad en meses es importante para las necesidades de crecimiento en primíparas.

Introducimos a continuación el intervalo entre partos en días, que es como lo dan en el control lechero. Supongamos que sea IP = 420 días, dividido por 7 el entero es igual a 60 semanas, de estas le restamos los dos meses de secado, aproximadamente 8 semanas, por lo tanto 52 semanas es la duración de la lactación; en la casilla semana de lactación en la entrada de datos [], y aquí es importante entrar bien el dato, aunque hay validaciones de la casilla. Si ponemos un valor entre 1 y 52, en el caso del ejemplo, la vaca está en lactación durante la semana que consideramos (ejemplo: [24]), y, por tanto, los cálculos que se realizan son: cálculo de la condición corporal y de la producción de leche: cc = 2,51; producción potencial de leche = 30,64.

A continuación debemos introducir la semana de fecundación, que se podría calcular, pero dejemos que se ponga entre un mínimo de 8 (semanas después del parto) y un máximo que se calcula por diferencia entre la semana prevista del parto (en el ejemplo 60) y las semanas de gestación (40), y en este caso el rango de la semana de fecundación está entre la 8 y la 20. En el ejemplo hemos introducido 15. Por lo tanto, la vaca está en la 24 semana de lactación y en la 9 semana de gestación (24 a 15). En este punto la vaca necesita 0,49 UFL/día y 16,02 g PDI/día para la reconstitución corporal (casillas **UFL_VPR** y **PDI_VPR**).

Al final se recopilan las semanas de lactación y gestación.

Si en lugar de poner 24 a semana lactación ponemos 53, los cambios son los siguientes:

Semana lactación---->	Valor entre 1 y	52	53
Semana fecundación			15
Semana gestación calculada en lactación			38
Semana en gestación período seco			33
Condición corporal calculada			3,00
Producción máxima potencial diaria 4% (pico)			40,04
Producción diaria en la semana de lactación al 4% y 3,1			0,00
EfPDI teórica			0,67
UFL_VPR pot	Variación reservas corporales U		-0,49
PDI_VPR pot	Variación reservas corporales P		-16,16
Semana lactación---->			0
Semana gestación ---->			33,00

En este caso, la vaca está en la 33 semana de gestación y en periodo seco.

II Plantear Ración

Es la hoja de más dificultad. En primer lugar toda la aplicación debe estar habilitada para macros, y en esta hoja a DATOS debemos tener SOLVER activado.

La visión total de esta hoja requiere explicaciones:

Selección ingredientes, límites incorporación, precio						ATENCIÓN: UNA VEZ SELECCIONADOS LOS INGREDIENTES, LÍMITES Y PRECIO, DEBEMOS ASEGURARNOS QUE LA HOJA DE CÁLCULO TENGA EL SOLVER ACTIVADO							
Iniciar cálculos kg fresco a 0	Límites incorporación		Cálculos			Precio ingrediente	Resultados solver						
	kg mín.	kg máx.	kg fresco	kg MS	% fresco ración		€/kg fresco						
MSI (kg/día)	0,00	100,00	1,00	0,32	100,00	0,01	Kg fresco total	1,00	Kg forraje fresco total	1,00			
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Kg concentrado fresco total	0,00	Aportaciones totales UE	0,32			
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Kg MS total	0,32	Kg MS total concentrada	0,00			
MSI (kg/día) (valor mínimo)	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Kg MS total forraje	0,32	PCO	0,00			
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	% MS forraje en la ración	100,00	Relación UFL/UE forraje	0,98			
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Tasa de sustitución global	0,00	VALOR FUNCIÓN OBJETIVO €/kg fresco				
MSI (kg/día) (valor mínimo)	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Producción leche	38,41	0,010	0,010	0,000		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Parámetros nutritivos, límites, valores finales						
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,01	Parámetros	Mínimo	Máximo	Valor	Valor/kg MS o %	En algunos ingredientes no constan los nutrientes...	
MSI (kg/día) (valor mínimo)	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,01	MSI (kg/día)	0,00	999,00	0,32			
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NMS ración	0,00	999,00	32,00			
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,01	UFL	14,11	15,60	0,32	1,00		
MSI (kg/día) (valor mínimo)	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,01	UFL	17,91	17,91	0,31	0,98		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	PDI	1,770,35	2,276,17	16,68	53,12		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,01	BPR	-8,00	0,00	-13,76	-42,99		
MSI (kg/día) (valor mínimo)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NI	1,40	1,40	0,05	0,05		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Ca	136,20	175,12	0,96	3,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,01	P	57,33	73,71	0,74	2,30		
MSI (kg/día) (valor mínimo)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Mg	70,61	90,78	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	K	115,81	148,90	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Na	28,20	36,26	0,00	0,00	Na	
MSI (kg/día) (valor mínimo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	S	0,56	0,72	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Cl	24,95	32,07	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Co	0,08	0,11	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Cu	2,80	3,60	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Mn	14,00	18,00	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Zn	14,00	18,00	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Yodo	0,10	0,21	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Se	0,13	0,17	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Vit A	1,344,00	1,344,00	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Vit D	320,00	320,00	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Vit E	4,80	4,80	0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	AG			7,68	24,00		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	MNT PB			24,29	75,50		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	PDIa			4,25	13,28		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	dMO		0,75	0,71	0,75		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	MOD			226,81	708,78		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	EE		4,00	10,27	3,21		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	FB			65,18	203,70		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NDF			138,46	432,70		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	ADF			78,21	244,40		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Ugmina			7,33	22,90		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Cenizas			16,45	51,40		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Mo			0,00	0,00		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	DT_N			0,75	0,75		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	MOD			196,03	612,59		
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	MO			262,36	819,86		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	PDI/UFL	106,12	136,43	53,01			
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NDF_Fa			138,46	43,27		
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NDFD_Fa			-1,021,43			
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NDFD_Fa/NDFD_Fa			-737,69			
MSI (kg/día) (valor máximo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	ADF/NDF			0,56			
MSI (kg/día) (valor objetivo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	MSI (kg/día)*	No predicción	*J. Dairy Sci. 102:7961-7969 M. S. Allen et al 2019				

La entrada de datos se hace en las casillas:

El resto son casillas de cálculos o casillas donde salen las necesidades previamente calculadas, y muchas de ellas son cálculos auxiliares para facilitar la comprensión de los procesos reiterativos.

Arriba a la izquierda una vez seleccionados los ingredientes que queremos que entren en la ración, o sencillamente los alimentos que participan en la formulación, debemos clicar:

Iniciar cálculos kg fresco a 0

La selección de ingredientes tiene 6 posiciones para forrajes, columnas 4 a 9; 11 posiciones para concentrados, columnas 10 a 20; 6 posiciones para minerales, columnas 21 a 26. Para cada ingrediente podemos entrar dos valores, mínimo y máximo. Si el ingrediente está seleccionado y el mínimo es 0 y el máximo 0, no entrará en los cálculos.

Para el buen funcionamiento del *Solver* el primer ingrediente (forraje) debe estar activo, es decir seleccionado y el valor más alto, ya que es el alimento que manda el proceso de sustitución con los concentrados. Una vez generada la ración es cuando el usuario puede decidir si es demasiada cantidad o es poca; la idea es dar libertad al primer ingrediente.

Si a un ingrediente seleccionado queremos ponerle una cantidad fija, pondremos la misma cantidad mínima y máxima. En la columna de *Precio ingrediente* introduciremos el precio en €/kg fresco o el coste de producción, ya que la programación de la ración es a coste mínimo. En la imagen de esta hoja podemos ver que hay dos casillas en la parte de los *Parámetros nutritivos, límites, valores finales* a las que podríamos introducir valores, son las de **BPR**, que nosotros hemos puesto 0 al valor mínimo y 30 el máximo, y si la vaca está en periodo de secado hemos puesto entre - 40 y - 8. Antes ya hemos explicado por qué.

En esencia la programación consiste en que el valor de la función objetivo sea mínimo.

VALOR FUNCIÓN OBJETIVO €/Kg fresco	3,017
------------------------------------	-------

Y la función objetivo es $\sum_{i=1}^{26} X(i) \times \text{Precio}(i)$; o sea, la suma producto de las cantidades de cada ingrediente por su precio o coste debe ser mínima.

La dificultad está en el cumplimiento de una serie de restricciones, que son las que se incluyen dentro del *Solver* propio de la aplicación.

Las restricciones normales, lógicas y sin problemas son las relativas a las cantidades de los posibles 23 ingredientes (forrajes, concentrados y minerales): la cantidad a determinar para cada uno de ellos debe ser superior a 0, superior a la cantidad mínima e inferior a la cantidad máxima, previamente introducidas.

Las otras restricciones son las relativas a los parámetros nutritivos, y que en las bases del racionamiento hemos explicado.

Parámetros nutritivos, límites, valores finales					
Parámetros	Mínimo	Máximo	Valor	Valor/kg MS o %	En algunos ingredientes no constan los nutrientes...
MSI (Kg/día)	0,00	999,00	0,32		
%MS ración	0,00	999,00	32,00		
UEL	14,11	15,60	0,32	1,00	
UFL	17,91	17,91	0,31	0,98	
PDI	1.770,35	2.276,17	16,68	52,12	
BPR	-8,00	0,00	-13,76	-42,99	
NI	1,40	1,40	0,05	0,05	
Ca	136,20	175,12	0,96	3,00	
P	57,33	73,71	0,74	2,30	
Mg	70,61	90,78	0,00	0,00	
K	115,81	148,90	0,00	0,00	
Na	28,20	36,26	0,00	0,00	Na
S	0,56	0,72	0,00	0,00	
Cl	24,95	32,07	0,00	0,00	
Co	0,08	0,11	0,00	0,00	
Cu	2,80	3,60	0,00	0,00	
Mn	14,00	18,00	0,00	0,00	
Zn	14,00	18,00	0,00	0,00	
Yodo	0,18	0,23	0,00	0,00	
Se	0,13	0,17	0,00	0,00	
Vit A	1.344,00	1.344,00	0,00	0,00	
Vit D	320,00	320,00	0,00	0,00	
Vit E	4,80	4,80	0,00	0,00	
AG			7,68	24,00	
MNT_PB			24,29	75,90	
PDIA			4,25	13,28	
dMO		0,75	0,71	0,75	
MOD			226,81	708,78	
EE		4,00	10,27	3,21	
FB			65,18	203,70	
NDF			138,46	432,70	
ADF			78,21	244,40	
Lignina			7,33	22,90	
Cenizas			16,45	51,40	
Mo			0,00	0,00	
DT_N			0,75	0,75	
MOF			196,03	612,59	
MO			262,36	819,86	
PDI/UFL	106,12	136,43	53,01		
NDF_Fa			138,46	43,27	
NDFD_Fa			-1.021,43		
NDFD_Fa %NDF_Fa			-737,69		
ADF/NDF			0,56		
MSI (Kg/día)*	No predicción	*J. Dairy Sci. 102:7961-7969 M. S. Allen et al 2019			

Por ejemplo la fila UEL (no se corresponde con la tabla anterior)

UEL	17,78	21,73	19,55	0,77
-----	-------	-------	-------	------

La casilla mínimo (17,78 en el ejemplo) está ligada a la hoja I_Necesidades y obtiene el valor de la capacidad de ingestión, valor que en esta casilla lo multiplicamos por 0,9 para no ser tan estrictos y facilitar el margen de cálculos; también lo multiplicamos por un valor **móvil** que es el índice: I_{CIPDI} igual a $0,91 + 0,115 / (1 + \exp^{(0,13 \times (90 - PDI/UFL)})$, que va variando conforme varían los contenidos de PDI y UFL de

la ración en su formación; el valor se obtiene en la casilla B87, la casilla máximo de la UEL (21,73, en el ejemplo) es del mismo sentido que la del mínimo pero multiplicada por 1,1 para darle margen al cálculo.

La casilla *Valor* de la fila UEL (19,55, en el ejemplo) es la de mayor dificultad. Son las aportaciones de UEL que se van calculando, pero no sólo por suma producto de cantidades de ingredientes por el contenido UEL de cada uno de ellos, sino por la variación que supone en el total de UEL la incorporación de concentrados (tasa de sustitución, proporción concentrado). La restricción del *Solver* es que este valor esté entre los límites. Y así con el resto de casillas (UFL, PDI, BPR, Ca y P).

La formación de la restricción UFL (ejemplo no necesariamente corresponde a la tabla anterior):

UFL	21,82	21,82	21,82	0,86
-----	-------	-------	-------	------

Al igual que con las casillas de la UEL, el mínimo (21,82, en el ejemplo) se forma a partir de las necesidades calculadas en la hoja I_Necesidades, pero a diferencia de antes el máximo (21,82, en el ejemplo) es igual que el mínimo, ya que la restricción de la energía es que el valor final sea igual a las necesidades afectadas por la depresión de la digestibilidad. Y esta depresión de la digestibilidad en la hoja se calcula a las casillas que están a la izquierda de la hoja debajo de la selección de ingredientes, y que como ya hemos explicado son la depresión o cambio debido al nivel de ingestión, el cambio debido a la proporción de concentrados y, por último, el cambio debido al balance proteico en el rumen:

Efecto NI	
NIref	1,79
NI % PV	3,89
dMOm	65,34029447
Δ dMO_NI	-0,057549235
Efecto %Co (PCO)	
PCO	0,46
Δ dMO_CO	-0,0447313
Efecto balance proteico rumen	
MNT ingerida	172,19
MOrD o MOF	497,64
MNrD_rumen (MNE) fermentadas rumen	110,87
MN alim_duodeno (PIA) no ferm en rumen	61,31
MN microbiana intestino ($41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times \text{MOrD_rumen} + 8,40 \times \text{PCO}$)	80,40
MN endógena	14,20
BPR ración	16,28
BPR ref	30,00
Δ dMO_BPR	0,008
Σ dMO x PMO	0,65
Efecto total interacciones digestivas	0,56

En las dos últimas casillas podemos ver los resultados: en el ejemplo, la suma producto de las cantidades de cada ingrediente seleccionado y que, definitivamente, entra en la ración es la dMO teórica (0,65), y la dMOc, corregida es la que suma los efectos (NI, PCO y BPR) igual, en este caso, a 0,56. Esto sería lo que sale al final de las iteraciones en caso de encontrar una solución. Pero mientras tanto no la encuentra, o la va buscando, el valor UFL que en las casillas mínimo y máximo es igual a las necesidades calculadas multiplicadas por la relación entre dMO, la que estimando por suma producto y la que se va generando debido de las iteraciones sucesivas: (valor de la casilla B47/valor casilla B48), o sea la casilla ($\Sigma \text{ DMO} \times \text{PMO}$, 0,65) y la casilla (**Efecto total interacciones digestivas**, 0,56). El valor de la Necesidad en UFL se multiplicará por la relación entre la dMO calculada y la dMO corregida por las interacciones.

La formación de la casilla PDI (ejemplo)

PDI	2.315,43	3.693,83	2315,43	91,56
-----	----------	----------	---------	-------

Es, posiblemente, la que más dificultades genera, ya que INRA (2018) incluye los cambios generados en la eficiencia PDI, tanto en las actividades productivas como en las no productivas, lo que hace que los cálculos de las necesidades en PDI se tengan que hacer sobre la marcha.

Los valores del mínimo y máximo están afectados por el margen que hemos dado el cálculo de necesidades (Límites de tolerancia (%)) en el cumplimiento necesidades proteicas), y las necesidades se generan de la siguiente forma, siguiendo el ejemplo, a la izquierda del apartado de los parámetros hemos incluido los valores que se han obtenido del cálculo de necesidades inicial:

Necesidades para una vaca (según datos individuales)			
MS prevista NRC	22,55	CI	16,31
Diferencia ración calculada	-22,23	UFL	18,84
MS forrajera, % mínimo	50	PDI	2.284,58
% tolerancia cálculos	12,5	NecPDI_PU _{endo}	202,80
	NecPDI - NecPDI_PU _{endo}		2.081,78
		UFL_VPR	4,59
		UFLf	0,31
		UEf	0,32
		UFLc	0,00

PDI son el total de necesidades, que incluye las relativas a NecPDI_P_{EF} proteínas endógenas fecales, de manera provisional, ya que no conocemos la MSI final, y en este caso ponemos MSI_{calculada}, que para una eficacia, $EfPDI = 0,67$, las $NecPDI_{P_{EF}} = 19,8 \times MSI_{calculada}$

$$MSI_{calculada} = 0,372 \times P_{pot} + 0,0968 \times P_v^{0,75} \times (1 - \exp(-0,192 \times (sl + 3,67)))$$

Ya en el proceso de calcular la ración $NecPDI_{P_{EF}} = MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MOND)) / EfPDI$, que se incluyen ahora en el mínimo y máximo, con los valores de materia seca ingerida que se generan en cada iteración, y el valor de la materia orgánica no digestible ya afectada por la variación de la dMO, y la eficacia variable en cada iteración $EfPDI$.

De las necesidades que salen del cálculo de la hoja l_Necessitats, en el ejemplo (2.284,58) los restamos las NecPDI_PU_{endo} (202,80) que son las únicas que no están afectadas por el EfPDI, y las necesidades que sí están afectadas por el EfPDI, en este ejemplo tienen el valor de 2.081,78.

Por lo tanto en las casillas mínimo y máximo, el valor irá multiplicado por la relación de eficiencias $(0,67/EfPDI)$, y, como ya hemos dicho, se sumará el valor NecPDI_P_{EF} afectado por EfPDI, en función de la desviación entre MSI y MSI_{calculada} que se va generando.

A la izquierda, debajo de las casillas relativas al cambio en la dMO hay una serie de casillas que nos llevan a la EfPDI:

MODc_rumen (MOF corregida)	426,06
PANDI	11,83
dr	0,81
PDIA	49,48
MN microbianas_duodeno (corregida)	76,40
PDI = PDIA + MN microbianas_duodeno x 0,8 x 0,8	98,38
flujo de N duodenal endógeno (Actualización)	
MOND = MO - MODc_rumen	462,93
N duodenal endo, g MNT/kg MSI = 14,2 x MSI	359,08
PERDIDAS FECALES ENDÓGENAS (PEF) i (NEC_PDI Actualización)	
MNND = 0,163 x MN alim_duodeno + 0,20 x MN mic_duodeno + 5,7 + 0,074 x MOND	65,23
PEF (proteínas endógenas fecales) = 5,7 + 0,074 x MOND	9,13
Nec PDI_PEF = MSI x [0,5 x (5,7 + 0,0074 x MOND)]/EFPDI	208,02
PERDIDAS ENDÓGENAS URINARIAS Y (NEC_PDI Actualización)	
log10 NU (N urinario g/día) log10 NU = - 1,17 + 1,00 x log10 Pv	1,64
NU	43,95
NUNP microbiano/NU = 0,3325/(1 + (NU/0,203))	0,00
NU endo	32,50
Nec PDI_NU endo	202,80
PERDIDAS NITROGENADAS POR LA EPIDERMIS Y (Nec_PDI Actualización)	
P epidérmicas (0,2 g PDI/kg Pv0,60)	9,74
Nec PDI_P epidérmicas = 0,2 x Pv0,60/EFPDI	17,57
Nec_PDI no productivas	428,39
Eficacia de la síntesis proteica en lactación	
PDI disponible = PDI ingerida - Nec PDI_NU endógenas	2.112,63
EFPDI = \sum gastos prot/PDI disponible = 0,67xEXP(-0,007x(PDI-100))	0,71
Bal EN	2,65
bal Proteína = 36 * bal EN (g PDI)	238,58
MP producción proteínas leche	914,35
EFPDI = (PEF + P epid + MP + bal Prote)/PDI disponible	0,55

La formación de estas casillas se ha explicado en el apartado de necesidades de proteínas.

En la casilla relativa a extracto etéreo, EE, (en *Parámetros nutritivos, límites, valores finales*) hemos introducido una restricción en el *Solver*, ya que a menudo se genera polémica en la incorporación de grasa a la ración, incorporación extra al contenido de cada ingrediente:

EE	4,00	913,78	4,00
----	------	--------	------

En la casilla Máximo hemos puesto la restricción que explica NRC, que hemos adaptado a UE y UFL, de que el contenido máximo de EE en la ración, g/kg MS, contando grasa añadida sea de 4 si la capacidad de ingestión es menor que 18 UE y/o las necesidades UFL son menores que 20; o bien que sea como máximo de 6 si la CI es mayor de 18 y UFL entre 20 y 24, y por último de 7 si UFL superiores a 24. De esta manera podemos dejar este ingrediente disponible sin mucha preocupación. También en esta casilla hemos puesto que el máximo de EE sea de 3 para secas.

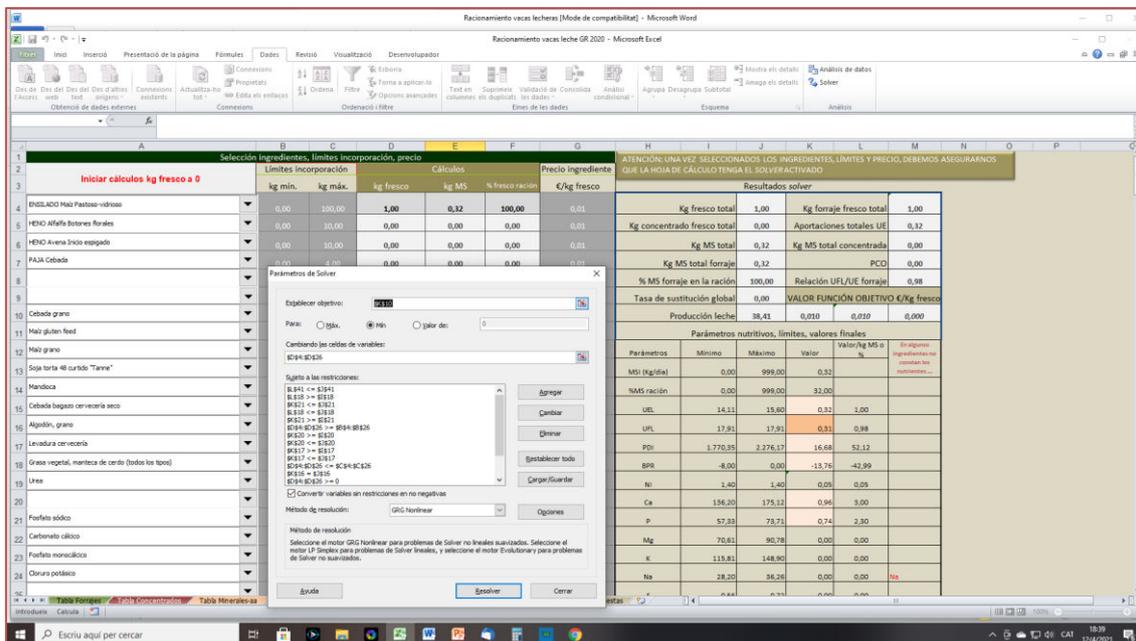
Las necesidades en Ca, P y otros minerales se han calculado con la MSI prevista y en las iteraciones (caso de Ca y P) y en los resultados finales para el resto se han ajustado a la MSI final.

En definitiva, las restricciones para la programación, a parte de las propias de las cantidades de cada posible ingrediente que seleccionamos, son las siguientes:

UE, UFL, PDI, BPR, Ca y P. También hemos añadido EE tal como se ha explicado. El problema está en que todas estas restricciones están influidas por la dMO, *EFPDI* y la MSI, y éstas lo están por el nivel de ingestión, la proporción de concentrado en la ración, el balance proteico en el rumen (lo que en ediciones anteriores era el equilibrio entre PDIN y PDIE), y la MSI final está determinada por la tasa de sustitución.

En la siguiente imagen podemos ver a la derecha y arriba de todo **Análisis de datos, Solver** que sale porque nos hemos situado en la pestaña **Datos**. Y sobre la hoja II_Plantear Ración sale el cuadro **Parámetros de Solver**, donde se indica la casilla objetivo, que se calculará al mínimo, cambiando los valores de las casillas D4 a D26 que son donde están las cantidades de cada ingrediente previamente seleccionado. Y esto se debe conseguir con una serie de restricciones que están dentro del cuadro

central, que ya hemos explicado. A la derecha hay diferentes mandos que sirven para añadir, cambiar o eliminar restricciones. El método que utilizamos es el GRG no lineal. Al comando **Resolver** activa el proceso de cálculo.



Al haber tantas restricciones y muchas de ellas ligadas reiterativamente, iteración tras iteración, obtener una solución resulta complicado, pero aquí interviene que el usuario sabe con qué material trabaja, y, muy a menudo, si fijamos un ingrediente forrajero (no el primero de la lista) en una cantidad mínima y máxima, podemos generar que sea más fácil obtener la ración. También es importante hacer el seguimiento de las casillas de los parámetros nutritivos para ver cuáles de ellas no cumplen los límites.

RESPUESTAS DE LA RACIÓN Y CAMBIOS

Cuando ya tenemos una ración formulada, proceso de nunca acabar ya que cambiando un ingrediente, o poniendo una cantidad mínima o máxima de otro todo cambia, podemos seguir los cambios en la producción por la incorporación de más **concentrado**, o de más **grasa añadida**, o sencillamente podemos analizar los efectos sobre el medio del **N urinario**, el **N fecal**, la producción de **metano**, etc. Todo esto lo podemos seguir en la hoja *Respuestas*.

Respuestas del aumento de concentrado en la ración calculada		
	Datos ración	Resultados finales
Pl (kg/día)	29,50	30,01
tg (g/kg)	40	39,46
tp (g/kg)	31	31,16
Kg MS total	22,84	23,28
Kg MS forrajera	17,81	17,24
kg MS concentrado	5,04	6,04
PCO	0,22	0,26
Sg	0,22	
Δ kg MS concentrado	1	

Nitrógeno urinario	
Datos ración	Carencia en N
NU	0,19

Nitrógeno fecal	
$Relación\ C/N\ en\ estiércol = 14,2 + 52,7 \times EXP(-0,014 \times MNT) - 3,76 \times PCO$	
Datos ración	Relación normal
MNT	158,57
PCO	0,22
C/N	19,09

Emisiones de metano	
$CH_4/MOD = 45,42 - 6,66 \times NI + 0,75 \times NI_2 + 19,65 \times PCO - 35,0 \times PCO_2 - 2,69 \times NI \times PCO$	
Datos ración	Producción metano por kg MOD normal
NI	3,51
PCO	0,22
CH ₄ /MOD	31,82
CH ₄ , g/día	413,02

Resultado de variar la cantidad de grasa sobre emisión de metano	
Datos ración	
EE, g/kg MS	40,00
Grasa añadida, kg/día	0,00
Δ g grasa añadida, kg/día	0,1
Δ EE, g/kg MS	4,37
Δ CH ₄ , g/kg MS y día	0,33

La grasa añadida aumenta emisiones de metano

RESPUESTAS AL AUMENTO DE CONCENTRADO

Se supone que la ración formulada cubre las necesidades nutritivas y está equilibrada. Si añadimos más concentrado cambiará la ingestión de MS total y también la producción, aunque de manera muy sutil. En el ejemplo lo podemos ver:

Respuestas del aumento de concentrado en la ración calculada		
	Datos ración	Resultados finales
Pl (kg/día)	29,50	30,01
tg (g/kg)	40	39,46
tp (g/kg)	31	31,16
Kg MS total	22,84	23,28
Kg MS forrajera	17,81	17,24
kg MS concentrado	5,04	6,04
PCO	0,22	0,26
Sg	0,22	
Δ kg MS concentrado	1	

En las casillas Datos ración (Pl a Sg) tenemos los valores de la ración tal cual la hemos formulada, si en la casilla Δ kg MS concentrado ponemos 1, quiere decir que a los 5,04 kg de concentrado añadimos un kg. La cantidad de MS concentrado que ingerirá la vaca será de 6,04, de forraje 17,24, y el efecto sobre la producción, la tasa de grasa y de proteína los vemos a Resultados finales.

La respuesta media intra-experiencias de la MSI total a la aportación de concentrado, expresado en relación al punto de encuentro de la ración es:

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

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

$$\text{resp_Pl} = 0,527 \times \Delta\text{MSI}_c - 0,0137 \times \Delta\text{MSI}_c^2$$

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

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

NITRÓGENO URINARIO Y NITRÓGENO FECAL

Nitrógeno urinario		
	Datos ración	Carencia en N
NU	0,19	

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

$$\text{NU}_{\text{calculado}} = \alpha \text{ BPR}/6,25 + \text{PDI}/6,25 \times (1 - \text{EffPDI}) + \text{NU}_{\text{endo}} + \text{NUNP}_{\text{microbiano}} + 0,47 \times \text{BalN}$$

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

Esta ecuación la hemos calculada a la hoja *II_Plantear ración*

	mín. NU	máximo NU
$\text{NU}_{\text{cal}} = 0,79 \times \text{BPR}/6,25 + \text{PDI}/6,25 \times (1 - \text{EffPDI}) + \text{Nuendo} + \text{NUNP}_{\text{mic}} + 0,4$	0,19	0,3

Las recomendaciones son:

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

Zonas de fuerte exceso NU > 0,40

Zonas falta NU < 0,20

Zonas de carencia importante NU < 0,15

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

En cuanto al N fecal la proporción de N fecal, o N no digestible, es relativamente constante cuando se expresa en relación a la MSI, y es de $8,42 \pm 2,02$ g N/kg MSI. Si se expresa en relación a la MO fecal (MO_fec) es más alto, $23,8 \pm 5,28$ g N/kg MO_fec. Según este último criterio las variaciones están positivamente ligadas a las proteínas brutas alimentarias (**MNT**) y a la proporción de concentrado (**PCO**) o la proporción de NDF del régimen.

Si se supone una concentración de 0,037 moles C/g (MO - MNT_{fecal}) y de 0,045 moles C/g MNT_{fecal} y de 0,0114 moles N/g MNT_{fecal}, la relación carbono/nitrógeno de la materia fecal, intra-experiencias es la siguiente (y nos sirve para evaluar el N fecal):

$$C/N = 14,2 + 52,7 \times \text{EXP}^{-0,014 \times \text{MNT}} - 3,76 \times \text{PCO}$$

Nitrógeno fecal	
Relación C/N en estiércol = $14,2 + 52,7 \times \text{EXP}^{-0,014 \times \text{MNT}} - 3,76 \times \text{PCO}$	
Datos ración	
MNT	158,57
PCO	0,22
C/N	19,09

Relación normal

Si C/N está entre 15 y 25 es normal, si es inferior a 15 hay exceso N fecal.

EL METANO Y LA VACA DE LECHE

Las pérdidas de metano entérico dependen de la cantidad de MOD expresada en función de la MS o del peso vivo, ya que el metano se produce por la fermentación de glúcidos. Por esta razón la relación CH₄/MOD se emplea como parámetro clave para calcular las pérdidas de energía en forma de metano.

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

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

La predicción de las emisiones diarias de metano por un animal en g/día se obtiene con la siguiente ecuación:

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

MSI es la ingestión de MS kg/día; MOD la cantidad de materia orgánica digestible en g/kg MS, i (CH₄/MOD) se obtiene de la ecuación anterior:

Emisiones de metano	
CH ₄ /MOD = $45,42 - 6,66 \times \text{NI} + 0,75 \times \text{NI}^2 + 19,65 \times \text{PCO} - 35,0 \times \text{PCO}^2 - 2,69 \times \text{NI} \times \text{PCO}$	
Datos ración	
NI	3,51
PCO	0,22
CH ₄ /MOD	31,82
CH ₄ , g/día	413,02

Producción metano por kg MOD normal

La normalidad está entre 25 y 43 de CH₄/MOD.

LA GRASA AÑADIDA Y EL METANO

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

$\Delta\text{CH}_4/\text{MS}$ es la disminución de las emisiones de metano en g/kg MS y ΔEE es la aportación en lípidos ligada a la suplementación del régimen (en g EE/kg MS). En la práctica la ración no debe contener más de 50 a 60 g EE/kg MS para evitar el efecto negativo de los lípidos sobre la digestión.

En el centro de la hoja - recuadro rojo - nos indica el resultado sobre MSI, UE, Energía, Proteína, proporción concentrados, los cambios que se producen en la DMO y EfPDI iniciales.

Además nos avisa el riesgo de acidosis y de las cantidades de N urinario, N fecal y metano.

Producción media aproximada por lactación → \$,000		COMPROBAR UNA RACIÓN DETERMINADA		Elegir valores medios Necesidades ↓		Aportaciones de la ración				
Seleccionar Ingredientes de la ración		kg fresco	kg MS	Necesidades vacas lecheras 2 ^a año 2 ^a año		kg fresco total		kg concentrado fresco total		kg forraje fresco total
Forraje MS alto	25,00	8,00	UFL	23,73		14,14	19,85	Aportaciones totales UE		
Forraje MS medio	0,00	0,00	PDI	2.298,53		kg MS total		26,31	12,15	kg MS total concentrado
Forraje MS bajo	6,84	6,16	NecPDI - PU _{MS}	202,80		kg MS total forraje		14,16	0,46	PCO
MS alta	0,00	0,00	NecPDI - NecPDI _{MS}	2.095,73		% MS forraje en la ración		53,81	0,80	Relación UFL/UE forraje
MS media	0,00	0,00	UFL_VPR	-0,60		Tasa de sustitución global		0,40	33	Producción prevista kg leche
MS baja	0,00	0,00	UFL	11,87		Parámetros		Mínimo	Máximo	Valor
MS muy baja	9,96	8,56	UEF	14,78		MSI (kg/día)		23,39	25,85	26,31
MS muy muy baja	0,00	0,00	UFLc	14,84		UFL		18,08	19,98	19,85
MS muy muy muy baja	0,00	0,00	PDI_VPR	-19,79		UFL		27,79	27,79	26,71
MS muy muy muy muy baja	4,06	3,54	MS prevista MNC	24,62		PDI		2.560,89	3.292,57	2.419,35
MS muy muy muy muy muy baja	0,00	0,00	Diferencia ración calculada	-1,69		BPR		-8,00	0,00	-108,41
MS muy muy muy muy muy muy baja	0,00	0,00	MS forrajera, % mínimo en la ración	50		NI		1,79	1,79	4,05
MS muy muy muy muy muy muy muy baja	0,00	0,00	% tolerancia cálculos	12,5		Ca		138,63	178,23	80,06
MS muy muy muy muy muy muy muy muy baja	0,06	0,05	Ca	157,31		P		70,61	90,79	74,86
MS muy muy muy muy muy muy muy muy muy baja	0,00	0,00	P	79,30		AG		683,50		25,98
MS muy baja	0,00	0,00	MSI alta			MNT_FB				3.983,93
MS muy baja	0,00	0,00	Normal en UE			PDIA				1.185,56
MS muy baja	0,00	0,00	Déficit Energía			dMO		0,64	0,75	0,64
MS muy baja	0,00	0,00	Déficit Proteína			MOD				15.963,46
MS muy baja	0,00	0,00	Normal MS concentrados			EE		6,00	907,26	3,45
MS muy baja	0,07	0,00	Alta depresión energética			FB		4.107,17	156,11	
MS muy baja	0,00	0,00	Cambio dMO	-14,61%		NDF			8.928,09	339,35
MS muy baja	0,00	0,00	Cambio EfPDI	-20,82%		ADF			4.991,15	0,00
Cálculos				Alto riesgo acidosis		Lignina				1.123,78
Efecto NI			NU g/vaca y día		2,21	Cenizas				1.351,92
Niref	1,79		Exceso para el medio			Mo				10,71
NI % PV	4,05		N fecal, g/vaca y día		#(REF)	DT_N				0,64
dMOM	64,90943028		Relación C/N normal			MOF				16.273,01
Δ dMO_NI	-0,061970522		CH ₄ , g/día		436,27	MO				25.533,35
Efecto %Co (PCO)			Producción metano por kg MOD normal			PDI/UFL		84,76	108,98	90,58
PCO	0,46					NDF_Fa				7.276,37

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. Prévion 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.** Prévion de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Tables de prévion 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. 6ª edició revisada. Washington: National Academy Press.
- NRC. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. 6a. edició. Washington: National Academy Press.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7a edició. [en línia] 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 Intellectual 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.