

Guía para la aplicación informática para el racionamiento de vacas de leche

Introducción	1
Formulación de raciones; pasos a tener en cuenta.....	2
Formulación GRG entrada fija	3
Formulación con MS.....	4
Formulación “Entrada múltiple”	5
Solicitud al usuario	6

Introducción

En la web existen diferentes aplicaciones basadas en *Excel* para el racionamiento de rumiantes. Ésta, en principio, más fácil de manejar, incluye todo lo necesario para llegar a la formulación de raciones, a la valoración nutritiva de ingredientes, y a la formulación de piensos; también se incluye la comprobación de raciones y concentrados de producción.

El sistema básico del racionamiento está basado en INRA (2018). En la carpeta de racionamiento pueden verse las bases del racionamiento. Antes de continuar, repasemos los dos temas más importantes, responsables de que la formulación no sea un sencillo rompecabezas, en el que vas poniendo alimentos hasta llegar a un equilibrio entre energía y proteína, para una determinada producción, con una capacidad de ingestión calculada.

Del documento sobre racionamiento sacamos lo siguiente:

*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 nivel % de concentrado y del balance proteico al rumen (BPR), de modo que todo se va rehaciendo a medida que van encajando las aportaciones y las necesidades (variables).*

No repetiremos aquí lo que ya tenemos en la carpeta. Interesa tener presente lo siguiente: por ejemplo, si las necesidades UFL calculadas son de 22 UFL/vaca y día, y las necesidades PDI son de 1.980 g PDI/vaca y día, teóricamente la digestibilidad de la materia orgánica (*dMO*) de la ración podría ser de 0,71, y la eficiencia proteica (*EfPDI*), que siempre parte al menos de 0,67, sea de 0,68. Al final, si para cumplir con las necesidades debe comer más concentrados, o el contenido PDI/UFL va cambiando, puede ocurrir que la ración tenga una *dMO* = 0,63 y una *EfPDI* = 0,45. Esto quiere decir que al realizar las iteraciones, tanto la fórmula UFL como la de PDI, y también la de ingestión no tienen un valor fijo, entre límites, caso de existir, sino que son **variables para cada iteración** y, por tanto, encontrar una solución resulta complicado.

De entrada, formular una ración necesita tiempo y pensarla; el programa pretende ser una **herramienta para pensar las raciones**.

Sólo trataremos aquí de la formulación de raciones, puesto que en la aplicación existe, para cada sección su guía.

Formulación de raciones; pasos a tener en cuenta

Una vez seleccionada la explotación de vacas de leche, con todos los datos necesarios, decidimos si la ración debe ser para el conjunto de vacas en lactación (que será el caso más usual) o si será para el posparto, para el pico o para el resto (del pico al secado).

Después elegimos los forrajes, concentrados y minerales, y para cada uno de ellos podemos decidir los límites de incorporación, y el precio, en cts. €/kg fresco. El **primer forraje** que seleccionamos es el **principal de la ración**, el que guía a todos los demás, incluidos los concentrados, que pasan a ser complementos. De hecho, este método es INRA puro, es decir, un sistema que nos recuerda, una vez más, que **la vaca es un rumiante**. Del primer forraje sólo deberemos introducir el precio o coste, los límites se calculan directamente: el máximo representa la cantidad máxima que podría comer la *vaca* (en cursiva, ya que se trata de la vaca media del grupo de racionamiento), como único alimento, y la cantidad mínima se calcula de forma aproximada, teniendo en cuenta que, con frecuencia, las raciones deberían contener el 50% de MS forrajera.

Después de la selección se pasa a la siguiente forma:

The screenshot shows the 'FORMULACIÓN' window for 'Grup de remugants RAMON TRIAS TORRENT'. It displays a list of selected ingredients with their minimum and maximum quantities and prices. Below this is a navigation bar with buttons like 'Volver a Necesidades', 'Volver a Selección', 'Formulación', 'Volver a la ración', 'Volver a inicio', and 'Guía'. The main area contains a table with two sections: 'Potencialidad forrajes como ingrediente' and 'Concentrados (valor lechero UFL y PDI)'. A red oval highlights the first row of the forage table, which includes 'VERDE raigrás italiano Espiga a 10 cm' and 'PAJA Cebada'.

Potencialidad forrajes como ingrediente			Concentrados (valor lechero UFL y PDI)	
	Kg fresco	Kg leche	Kg leche UFL	Kg leche PDI
VERDE raigrás italiano Espiga a 10 cm	109,44	26,83	2,57	1,93
PAJA Cebada	16,06	1	2,96	2,03
			2,78	4,48
			8,6	-
			2,06	3,74
			3,92	10,26

Aquí aparece el resumen, explotación y grupo de racionamiento, y el listado de forrajes, concentrados y minerales con los límites de incorporación a la ración y el precio. Observemos el primer forraje, son cantidades calculadas por el programa. Tanto éstas como el resto, podemos cambiarlas, sólo clicando sobre cada ingrediente. Es útil para cambiar según los resultados de la formulación.

Se incluye información sobre la potencialidad de cada forraje que va a entrar en la formulación, así como de los concentrados, expresados en kg de leche para comparar unos con otros.

Formulación GRG entrada fija

El botón de *Formulación* nos lleva a la programación de *Solver: Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinear* que se emplea para formulaciones no lineales, que es el caso del racionamiento que utilizamos. En este botón, la formulación GRG es de entrada fija, es decir, prueba si los forrajes por sí solos llegan a las necesidades nutritivas, o con complementación. Pero siempre prevaleciendo la parte forrajera de la ración. Por eso, al empezar siempre intentamos mantener los límites de incorporación del primer forraje. En general, las explotaciones tienen vacas de alta producción y la formulación con alto contenido de forrajes es poco usual, por lo que el resultado de la *primera formulación* no da ninguna respuesta positiva, si bien nos puede orientar para modificar sus límites que hemos impuesto, tal y como hemos explicado, las cantidades de los forrajes y concentrados. No obstante, si los forrajes son de muy buena calidad, puede dar resultados positivos, a pesar de la dificultad intrínseca de la programación.

El botón de *Formulación* está preparado para las restricciones UE, UFL, PDI, BPR, Ca y P, también no se permite que la grasa o AG sobrepasen las restricciones impuestas (ver documentos de racionamiento), y que el % MS forrajera sea al menos del 45%.

Hechos los cálculos pasa a la siguiente página, en la que vemos que ha salido un resultado positivo, ya que para una producción de 32 kg leche/vaca y día, para el conjunto de las vacas en lactación, hemos utilizado dos ingredientes forrajeros de alta calidad, ensilado de maíz vitreo y heno de alfalfa rebrotes de floración.

Necesidades un solo grupo de lactación (datos explotación)					Racionamiento alimentario de vacas lecheras					Valores de la formulación				
9/10/2024					Días de racionamiento					Máximo				
Libre					Grupos de Remugantes					Real				
Q mínimo					kg MS					V. teórico				
ENSILO Maíz vidrioso	24,74	47,69	52,10	16,69	286,15					MSI (kg/día)	20,87	26,98	23,93	23,25
INGREDIENTES QUE ENTRAN EN LA RACIÓN										Grasas azúcares	0,00	29,03	0,00	0,00
Maíz grano	0,00	6,97	8,00	3,99	127,99					UFL	16,14	18,10	19,68	17,32
Sopa torta 44	0,00	3,86	6,00	2,93	174,96					UPE	27,39	27,15	27,19	23,48
Grasa vegetal, manteca de cerdo (todos los tipos)	0,00	0,04	0,50	0,04	4,07					PDI	2.471,76	2.543,79	3.177,98	2.281,92
Cebada bagazo cerveza fresco	0,00	15,00	15,00	3,08	90,00					BPR	-9,00	0,53	0,56	
										TE	1,61	3,85	1,61	
										Ca	57,08	74,82	74,82	63,67
										Na	48,18	61,95	61,95	51,06
										Emisiones de metano	11,03	42,55	14,18	12,61
										reducción metano por kg MDC	115,53	79,22	149,99	129,74
										gH ruminal	27,17	11,14	34,93	31,05
										Riesgo débil acidosis	89,92	0,53	115,61	102,76
										MS	23,38	0,07	30,06	26,72
										Zn	7,48	1,26	9,61	8,24
										Yodo	249,17	131,36	320,37	284,77
										Se	1.245,87	289,05	1.601,83	1.423,85
										Vit A	113.332,93	48,03	113.332,93	113.332,93
										Vit D	26.984,03	0,00	26.984,03	26.984,03
										Vit E	404,76	113,32	404,76	404,76
										AD	748,56			
										MNT PB	1.972,66			
										PDI A	1.119,03			
										dMO	0,72	0,72	0,64	
										MCO	16.481,48			
										EE	1.052,34		4,00	
										FB	4.148,35			
										NDF	9.260,78			
										ADF	4.640,65			

Solución aceptable, dentro de los límites UE, con alto % de forrajes, cerca del 62%. El programa advierte que podría ser conveniente recalcular la cantidad de MS de la ración, ya que sobrepasa el límite NRC (26,98 vs 23,245) o el límite según el contenido en MO de la ración (26,98 vs 24,574). Podemos observar que se partía de una *dMO* de 0,75 y la de la ración sería de 0,64, igual que parte de una eficiencia en proteína de 0,70 y pasa a 0,56.

Ahora con los mismos ingredientes intentamos formular para el grupo del pico de lactación (40 kg de leche/vaca y día).

Nueva aplicación para el racionamiento alimenticio de vacas de leche

Necesidades grupo pico lactación (datos explotación)		Kg leche estándar		Días de racionamiento		98,00		Racionamiento alimentario de vacas lecheras				Valores de la formulación			
Libre		40,07		Grup de Remugants				Grup de remugants RAMON TRIAS TORRENT							
Ingredientes que entran en la ración		Q mínima	kg/vaca y día	Q máxima	kg MS	Coste		Ingredientes que NO entran				Nutriente			
ENGLADO Maiz vidrioso		28,54	52,04	55,35	18,21	312,23		HENO Alfalfa				MSI (kg/día)			
Cebada grano		0,00	1,53	6,00	1,35	42,69		Nitrógeno urinario				Mínimo			
Maiz grano		0,00	6,00	6,00	5,16	168,01		Exceso para el medio				Real			
Soja torta 44		0,00	4,52	6,00	3,94	235,10		Nitrógeno fecal				Máximo			
Cebada bagazo cervceria fresco		0,00	9,72	15,00	1,99	58,31		Relación normal				V teórico			
Carbonato cálcico		0,00	0,22	0,50	0,21	1,10		Emisiones de metano				/kgMS			
Fosfato bicálcico		0,00	0,08	0,50	0,05	0,16		Grasa vegetal,							
Totales								roducción metano por kg MOE							
								pH ruminal							
								Riesgo débil acidosis							
								recalcular MS							
								D acord							
								MS							
								Zn							
								Fe							
								Se							
								Vr A							
								Vr D							
								Vr E							
								AG							
								MNT_PB							
								PDIA							
								dMO							
								MDO							
								FE							
								FB							
								NDF							
								ADF							
								Lignina							
								Cenizas							
								OT_N							
								MOF							
								MO							

Nos da un resultado positivo, quizá al límite de la ingestión (ver UEL), y también en kg MS (30,91).

A partir de aquí se recomienda, en caso de no aceptar la ración o para mejorarla, o para saber más sobre ella, ir a la Formulación con MS. Ésta mantiene el mismo sistema Solver de restricciones y cálculos, pero la restricción UE no la tiene en cuenta, y en su lugar pone la restricción de MS según los cálculos de NRC, es decir, la MS sin distinguir si procede de forrajes o de concentrados. A veces da resultados aceptables, y pasar a la ración definitiva depende ya de quien formule. Se trata de ver los límites de nutrientes para la producción establecida, a la derecha de la hoja se encuentran los límites y valores alcanzados.

Formulación con MS

De otro ejemplo se ha formulado con MS y el resultado es el siguiente:

Necesidades grupo pico lactación (datos explotación)		Kg leche estándar		Días de racionamiento		98,00		Racionamiento alimentario de vacas lecheras				Valores de la formulación			
Libre		40,07		Grup de Remugants				Grup de remugants RAMON TRIAS TORRENT							
Ingredientes que entran en la ración		Q mínima	kg/vaca y día	Q máxima	kg MS	Coste		Ingredientes que NO entran				Nutriente			
VERDE raigrás Italiano Espiga a 10 cm		64,42	70,28	119,55	11,10	140,56		Nitrógeno urinario				Mínimo			
PAIA Cebada		4,00	4,00	4,00	3,52	80,00		Exceso para el medio				Real			
Cebada grano		0,00	4,29	6,00	3,81	120,01		Nitrógeno fecal				Máximo			
Maiz grano		0,00	6,00	6,00	5,16	168,01		Relación normal				V teórico			
Grasa vegetal, manteca de cerdo (todos los tipos)		0,00	0,50	0,50	0,50	55,00		Emisiones de metano				/kgMS			
Maiz gluten meal		0,00	2,60	4,00	2,32	208,15		Grasa vegetal,							
Carbonato cálcico		0,00	0,08	0,50	0,08	0,38		roducción metano por kg MOD normal							
fosfato bicálcico		0,00	0,10	0,50	0,10	0,52		pH ruminal							
Totales								Riesgo débil acidosis							
								recalcular MS							
								D acord							
								MS							
								Zn							
								Fe							
								Se							
								Vr A							
								Vr D							
								Vr E							
								AG							
								MNT_PB							
								PDIA							
								dMO							
								MDO							
								FE							
								FB							
								NDF							
								ADF							
								Lignina							
								Cenizas							
								OT_N							
								MOF							
								MO							

Si bien no se ha tenido en cuenta la restricción UE, todo el procedimiento sigue las reglas INRA. Nos da una solución aceptable, recordemos que para una producción de 40 kg de leche. La ingestión es de 26,59 kg MS, que resulta inferior incluso de las previsiones NRC y de las que surgen del contenido en MO. El porcentaje de MS Fo:Co es de 55:45.

Formulación "Entrada múltiple"

De hecho, esta formulación es la que corresponde al tipo de producciones y, sobre todo, a los tipos de forrajes, que, en general, ni se dan en verde ni son de excesiva calidad nutritiva.

Es una formulación con las mismas restricciones del inicio (UE, UFL, etc.) pero va probando cada ingrediente como entrada principal, es decir, no sólo el primer forraje hace de guía, sino que va probando cada ingrediente como primera entrada. Antes de iniciar la formulación múltiple se indica si se quiere tener a mano la información de lo que se puede hacer con esa formulación.

Si el planteamiento es bueno y los forrajes también, los cálculos de la formulación múltiple pueden dar resultados adecuados.

Al clicar Formulación "Entrada múltiple", empiezan las iteraciones con cada ingrediente, va probando soluciones. En general, puede llegar a 100 subproblemas, y dependiendo de la dificultad realiza muchas soluciones de prueba, y esto puede tardar más de 5 minutos. Podemos de vez en cuando abortar el cálculo para ver lo que pasa.

En el ejemplo hemos pulsado esc en el subproblema 11 y en la solución de prueba 23.



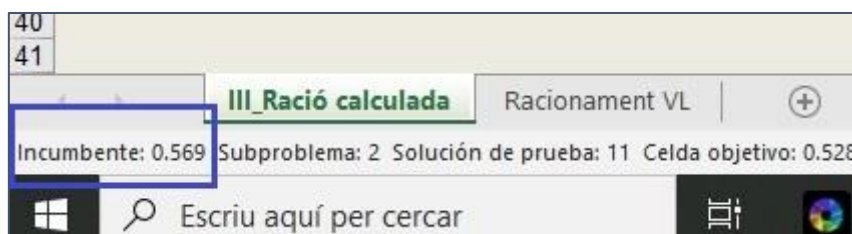
	H	I	J	K	L	M	AC	AD	AE	AF
kg fresco total			82,39	kg forraje fresco total		68,42				
g concentrado fresco total			13,96	Aportaciones totales UE		18,96				
kg				Entrado		12,32				
kg MS tota				PCO		0,47				
% MS forraje en				forraje		0,90				
Tasa de sustitución				CIÓN OBJETIVO €/kg fresco						
Producción					208,841	604,365				
Parámetros, límites, valores finales	Mínimo	Máximo	Valor	Valor/kg MS o %	En algunos		Necesidades teóricas			
MSI (kg/día)	26,4433	29,2268	26,0219				Necesidades grupo pico lactación (datos explotación)			
%MS ración	0,00	999,00	31,59							
UEL	17,9980	20,8398	18,9604	0,73			CI		18,72	
UFL	29,7908	29,7908	29,7911	1,14			UFL		26,74	
PDI	2.582,4613	3.320,3073	3153,8139	121,20			PDI		2.681,43	
BPR	-9,00	0,56	80,89	3,11			Ingrediente			
NI	2,20	2,20	3,72	3,72						kg fresco
Ca	63,8264	82,0625	63,8264	2,45			VERDE raigrás Italiano Espiga a 10 cm			64,42
P	51,6813	66,4474	66,4483	2,55			PAJA Cebada			4,00
Mg	12,00	15,42	35,55	1,37	Mg					0,00
K	123,03	158,19	401,32	15,42	K		Cebada grano			3,88
Na	29,87	38,40	40,98	1,57	Na		Maíz grano			6,00
S	45,54	58,55	11,41	0,44	S		Soja torta 44			0,00

Al parar podemos observar lo siguiente: el valor UEL y el valor PDI están dentro de los límites. El valor del Ca es inferior al límite inferior, si bien lo será por poco ya que los cuatro decimales concuerdan. El valor UFL es superior al límite que en este momento se ha establecido por los cálculos iterativos (29,7908). Vemos (a la derecha) que el valor UFL teórico es de 26,74, pero al entrar concentrados hay una depresión de la digestibilidad. El valor UFL no se considera entre

límites, sino que debe ajustarse íntegramente. El valor P también es superior al límite superior. Por lo tanto, decidimos continuar las iteraciones.

Puede ocurrir que al final no dé una solución, pero al parar hemos observado que muchos valores (UEL, UFL, PDI, BPR, Ca y P) están próximos a la solución. Entonces, podemos volver a repetir la formulación e ir parando de vez en cuando, para llegar a una aproximación.

En algunos casos puede suceder que en las iteraciones aparezca lo siguiente;



Esto significa que el motor Solver GRG entrada múltiple ha pasado a *Evolutionary* para problemas no suavizados, no busca la solución más óptima sino la que sea factible, y en el momento que estaba quería decir:

Incumbente: mejor solución hasta ahora (0,569); Subproblema: número del intento realizado (2); Solución de prueba: solución intermedia (11); Celda objetivo: valor de la celda objetivo (0,528).

En el ejemplo seguimos las iteraciones y al completar los cien subproblemas da una solución aceptable

Necesidades grupo pico lactación (datos explotación)		Kg leche estándar	Días de racionamiento			Racionamiento alimentario de vacas lecheras		Valores de la formulación				
		23/10/2024	98,00			Grup de remugants RAMON TRIAS TORRENT						
Libre		40,07	Grup de Remugants			Ingredientes que NO entran		Nutriente	Mínimo	Real	Máximo	V teòric
Ingredientes que entran en la ración		Q mínima	kg/vaca y día	Q máxima	kg MS	Coste						
VERDE rajgràs Italiano Espiga a 10 cm		64,42	74,38	119,55	11,75	148,75			MSI (kg/día) 25,41 26,66 28,39 27,50			
PAJA Cebada		4,00	4,00	4,00	3,52	80,00			SAMS ración 0,00 29,20 999,00			
Cebada grano		0,00	3,93	6,00	3,49	110,06	Nitrógeno urinario 236,19		UFL 17,48 19,27 20,24 18,72			
Maíz grano		0,00	6,00	6,00	5,16	168,00	Exceso para el medio 29,94		UFL 29,94 29,94 29,94 26,74			
Grasa vegetal, manteca de cerdo (todos los tipos)		0,00	0,50	0,50	0,50	55,00	Nitrógeno fecal 255,76		PDI 2,822,21 2,822,21 3,628,56 2,681,43			
Maíz gluten meal		0,00	2,32	4,00	2,07	185,34	Relación normal 2,24 3,81 2,24		BPR -9,00 0,56 0,56			
Carbonato cálcico		0,00	0,07	0,50	0,06	0,33	Emisiones de metano 488,423		NI 2,24 3,81 2,24			
Fosfato bicálcico		0,00	0,11	0,50	0,10	0,53	Cebada bagazo producción metano por kg MOD normal 6,18		Ca 64,20 64,20 82,54 73,93			
Totales			91,30		26,66	747,99	Riesgo débil acidosis		P 52,14 67,04 67,04 60,29			
					57,28				Mg 12,00 38,09 15,42 13,71			
					42,72				K 123,03 448,74 158,19 140,61			
									Na 29,87 45,70 38,40 34,13			
									S 46,65 12,95 59,98 53,32			
									Cl 26,70 0,05 34,32 30,51			
									Co 7,00 0,14 9,00 8,00			
									Cu 233,27 134,62 299,91 266,59			
									Mn 1.166,33 1.179,16 1.499,57 1.332,95			
									Zn 1.166,33 221,27 1.499,57 1.332,95			
									Almidón 0,00 0,00 0,00 0,00			
									Se 0,13 0,17 0,17 0,15			
									Vr A 175.949,95 175.949,95 175.949,95			
									Vr D 26.659,08 176,00 26.659,08 26.659,08			
									Vr E 1.066,36 206,10 1.066,36 1.066,36			
									AG 1.125,48			
									MNT_PB 4.325,54			
									PDIA 1.544,21			
									dMO 0,79 0,70			
									MOD 47.098,46			
									EE 1.361,91 7,00			
									FB 4.053,75			
									NDF 9.791,33			
									ADF 4.493,09			
									Lignina 363,90			

Solicitud al usuario

Antes de la solicitud transcribo lo que dice INRA (2018) sobre los principios generales de racionamiento:

En élevage, il n'est pas toujours possible ou souhaitable de satisfaire la totalité des besoins en lien avec les caractéristiques ou potentiel de l'animal. Il peut être préférable d'alimenter les ruminants avec une ration de composition prédéterminée et d'en évaluer les conséquences sur les performances des animaux.

Se agradecería que cualquier duda, sugerencia, o comentario nos los hagáis llegar, ya que la intención es que esta aplicación se pueda emplear directamente sin ningún obstáculo de carácter informático. De entrada, ya sabéis que la web está abierta sin ningún otro interés que ayudar a los interesados en el mundo de las explotaciones de rumiantes, desde lo que sabemos y vamos aprendiendo. Por otra parte, este programa, de momento, está en proceso de elaboración y debéis fijaros en la fecha de actualización.

Antoni Seguí Parpal asegui@remugants.cat

Jordi Maynegre Santaulària jmaynegre@remugants.cat