

Exemples sobre la taxa de substitució

A continuació expliquem tres casos sobre la depressió de la digestibilitat, la substitució de farratges per concentrats i veure com varia la taxa de substitució d'una ració, segons el tipus de farratge (valoració energètica i d'atipament), i segons si la vaca produeix més sense variar el tipus de farratge. Per a cada cas es parteix d'una situació **A** i es compara què passa en la nova situació **B**.

Primer cas per a una mateixa producció, varia la part farratgera de la ració. Partim d'**A** (part farratgera de la ració, UFL = 0,80 i UE = 1,00, i part concentrada UFL = 1,20). A la situació **B** la part farratgera té la mateixa valoració d'atipament (UE = 1), però és més rica en UFL (0,90). A les dues racions la part concentrada té una valoració energètica de 1,2 UFL/kg MS.

En **A**, la taxa de substitució resulta ser de 0,42 (és a dir, que per arribar a satisfer les necessitats energètiques calen 16,18 kg MS farratgera i 3,15 kg MS concentrada). Analcem això.

Per a cobrir les necessitats energètiques (manteniment i 25 litres de llet) la ració ha d'incorporar concentrat (3,15 kg MS), ja que el farratge com a únic aliment, *ad libitum*, no cobreix les necessitats (16,30 UFL):

Quantitat de farratge *ad libitum* serà igual a Capacitat ingestió (17,50) dividit per valor atipament (1), la qual cosa dona un valor de 17,50 kg MS. Quantitat que aportarà l'energia equivalent a 14 UFL, valor que s'obté de multiplicar-la pel valor energètic del farratge (0,80). Per tant, l'energia aportada (14 UFL) és inferior a la necessària (16,30 UFL) i, en conseqüència, s'ha de recórrer a l'aportació de concentrats. I, el resultat és la disminució de la quantitat de farratge que podria consumir en favor del consum de concentrat.

La taxa de substitució és la quantitat de farratge, en kg MS, que desplaça el consum d'un kg MS de concentrat, per tant, serà igual a:

$$(17,50 - 16,18)/3,15 = 0,42$$

Cal observar que si la vaca consumeix farratge com a únic aliment menjaria 17,50 kg MS, i, en canvi, la quantitat de MS de la ració consumida serà de 19,33 Kg.

Fins aquí la ració que podem dir fisiològica, sense forçar el metabolisme en excés. A la taula, a les darreres files, podem observar què passarà si, més enllà del punt estricte d'acompliment de les necessitats energètiques, subministrem més concentrat. Recordem que per arribar a la solució de la ració actual hem aplicat la depressió de la digestibilitat de l'energia de la ració¹, depressió que es dona per la incorporació de concentrat, ingredient que no provoca la rumia.

Doncs bé, a partir d'aquest punt, en incorporar més concentrat s'ha d'aplicar la llei de rendiments decreixents². En l'exemple **A** s'hi afegim 1 kg més de concentrat, passant dels 3,15

¹ La depressió de l'energia de la ració s'estima amb la següent equació (Vermorel *et al.*, 1987):

$$D = 6,3 \times I^2 + 0,002 \times N^2 - 0,017 \times N$$

Essent **D** és la depressió en UFL, **I** la proporció del concentrat a la ració (de 0 a 0,5), i **N** les necessitats teòriques calculades.

² La llei dels rendiments decreixents que té la següent formulació, $\Delta = -5,07 + 3,15 \cdot \ln(\partial_{UFL} + 5)$

Δ , és la diferència de producció de llet en litres per dia; δ_{UFL} és la variació UFL en el punt estricte

als 4,15 kg MS, la ració passa a ser de 15,55 kg MS farratge i 4,15 kg MS concentrat, la qual abastaria la producció de 25,41 litres de llet del 4%, tot aplicant la llei de rendiments.

En conseqüència, la incorporació d'un kg de concentrat, de valor energètic 1,20 UFL, més enllà del punt estricte d'acompliment energètic només equivaldrà a 0,41 litres del 4% de greix. I és aquí on queda demostrat que els valors nutritius dels concentrats només són certs en el cas d'una alimentació racional, fisiològicament racional.

Fins aquí hem analitzat la situació **A** del primer cas. Ara veurem que passa a la situació **B**, on recordem el farratge, o el conjunt de farratges, de la ració té el mateix valor d'atipament, però, a la vegada, té més valor energètic (0,90 UFL). Procedim de la mateixa manera que en **A** i els resultats són el següents.

Per a l'acompliment de les necessitats d'energia li calen 16,97 kg MS de farratges (quantitat lleugerament superior a la situació **A**) i 1,09 kg MS de concentrat d'1,20 UFL, molt menys que abans. Diem, en aquest cas, que el farratge *competeix* molt bé amb el concentrat, i, per tant, la taxa de substitució augmenta, passa de 0,42 a 0,48. La incorporació de concentrat desplaça més farratge que en la situació A, ja que el farratge és més bo i, en aquesta situació, atipa igual. El consum total de MS serà de 18,06 kg, inferior a **A**.

Mes enllà d'aquest punt estricte, si s'hi afegeix un kg més de concentrat serà pitjor que abans. Deixa de menjar 0,68 kg MS farratgera (16,97 menys 16,29) i en la situació **A** en deixava de menjar 0,63 kg MS farratgera (16,18 menys 15,55). La conseqüència pràctica és que els farratges bons no necessiten tant de concentrats per fer racions equilibrades.

Primer cas	B igual atipament i més valor energètic que A	
Ítems	A	B
Pes	650	650
litres llet	25	25
Taxa greix	4	4
UFL/kg MS	0,80	↑ 0,90
UE/kg MS	1,00	1,00
UFL/kg MS Con.	1,20	1,20
Necessitats Energia	16,30	16,30
Capacitat Ingestió	17,50	17,50
Necessitats Energia reals	16,72	↓ 16,58
Taxa substitució	0,42	↑ 0,48
kg MS farratge	16,18	↑ 16,97
kg MS concentrat	3,15	↓ 1,09
kg MS total	19,33	↓ 18,06
Si hi afegim 1 kg concentrat	15,55 kg MS fa	16,29 kg MS fa
	4,15 kg MS co	2,09 kg MS co
	25,41 l llet	25,34 l llet
	1kg co ⇒ 0,41 l	1kg co ⇒ 0,34 l

Segon cas per a una mateixa producció, el farratge, o conjunt de farratges, de la ració té la mateixa valoració energètica en **A** i en **B**, però en **B** és més atipant. La situació **A** és la mateixa del primer cas. En la **B** per aconseguir amb les necessitats caldrà una ració de 12,51 kg MS farratgera, valor molt inferior a la d'**A**, i 6,01 kg MS concentrada, valor molt superior al d'**A**. El farratge atipa més, s'hi està més en sortir del rumen, i la incorporació de concentrat no el

desplaça amb la mateixa intensitat d'abans, i, per tant, es necessitarà més quantitat de concentrats per assolir les necessitats. La clau, o la raó, per entendre això està en la quantitat de farratge que podria consumir *ad libitum* com a únic aliment en les dues situacions. A l'**A** ja sabem que en pot consumir 17,50 kg MS, en canvi a la situació **B** en podria consumir 14,58 kg MS, valor que s'obté de dividir la capacitat d'ingestió (17,50 UE), igual en les dues situacions, pel valor d'atipament (1,20 UE), molt superior.

Més enllà del punt estricte passa el mateix a **A** i a **B**. En la situació **B** un kg més de concentrat no desplaça tanta quantitat de farratge, ja que atipa més. En la situació **A** en deixava de menjar 0,63 kg MS farratgera (16,18 menys 15,55), i en la **B** 0,62 kg MS farratgera (12,51 menys 11,89).

Segon cas	B igual valor energètic i més atipament que A	
Ítems	A	B
Pes	650	650
litres llet	25	25
Taxa greix	4	4
UFL/kg MS	0,80	0,80
UE/kg MS	1,00	↑ 1,20
UFL/kg MS Con.	1,20	1,20
Necessitats Energia	16,30	16,30
Capacitat Ingestió	17,50	17,50
Necessitats Energia reals	16,72	↑ 17,22
Taxa substitució	0,42	↓ 0,34
kg MS farratge	16,18	↓ 12,51
kg MS concentrat	3,15	↑ 6,01
kg MS total	19,33	↓ 18,52
Si hi afegim 1 kg concentrat	15,55 kg MS fa	11,89 kg MS fa
	4,15 kg MS co	7,01 kg MS co
	25,41 l llet	25,41 l llet
	1kg co = 0,41 l	1kg co = 0,41 l

Tercer cas per a dues situacions diferents quant a producció (i necessitats) i idèntics valors en farratges i concentrats. En la situació **A** tot és igual que en els dos anteriors casos, en canvi a **B** la vaca ha de produir més llet i els ingredients són els mateixos, però no, lògicament, la quantitat d'ells. La ració en la situació B tindrà, en el punt d'acompliment estricte de les necessitats energètiques, menys quantitat de farratge (passa dels 16,18 kg MS d'**A** a 15,86 kg MS, menys 0,32 kg MS), i més quantitat de concentrat (passa dels 3,15 kg MS d'**A** a 7,65 kg MS, més 4,5 kg MS). La taxa de substitució serà més petita i no a causa del farratge, que és el mateix en A i en B, sinó pel fet que la vaca produeix més i necessitarà més concentrats, atesa la valoració de partida dels farratges.

La capacitat d'ingestió en B és de 18,40 UE, per tant, podria menjar *ad libitum* 18,40 kg MS, que surt de dividir la capacitat per la valoració UE del farratge (18,40/1). Aquesta quantitat ens proporciona 10,4 UFL, valor molt inferior a les necessitats calculades (20,70 UFL), i, per tant, necessitarà de la incorporació de concentrats, concretament una quantitat de 7,65 kg MS. En fer la ració, la formulació, ens surt un consum de 15,86 kg MS de farratges, per tant, la taxa de substitució serà la següent:

$$(18,40 - 15,86)/7,65 = 0,33$$

Més enllà del punt estricte un kg de concentrat té una valoració real, en les condicions establertes, de 0,41 litres de llet del 4%, igual a la situació **A**.

Tercer cas	B més producció llet, igual valor energètic, igual atipament	
Ítems	A	B
Pes	650	650
litres llet	25	↑ 35
Taxa greix	4	4
UFL/kg MS	0,80	0,80
UE/kg MS	1,00	1,00
UFL/kg MS Con.	1,20	1,20
Necessitats Energia	16,30	↑ 20,70
Capacitat Ingestió	17,50	↑ 18,40
Necessitats Energia reals	16,72	↑ 21,87
Taxa substitució	0,42	↓ 0,33
kg MS farratge	16,18	↓ 15,86
kg MS concentrat	3,15	↑ 7,65
kg MS total	19,33	↑ 23,51
Si hi afegim 1 kg concentrat	15,55 kg MS fa	15,24 kg MS fa
	4,15 kg MS co	8,65 kg MS co
	25,41 l llet	35,41 l llet
	1kg co = 0,41 l	1kg co = 0,41 l

Resum

	Taxa de substitució	Comparació amb A
A	0,42	
B 1r cas	0,48	El farratge atipa igual però és més bo energèticament, s'aprofita més i per tant, competeix amb el concentrat; si hi afegim més concentrat més farratge desplaçarà, seria antieconòmic; amb menys concentrat arribem a satisfer les necessitats (el denominador de la taxa és petit)
B 2n cas	0,34	El farratge atipa més, igualtat en energia, tarda més en passar pel tracte digestiu, i en afegir concentrat se'n desplaça menys, necessitem més quantitat de concentrat (augmenta el denominador de la taxa)
B 3r cas	0,33	El farratge és el mateix, la vaca produeix més, té més necessitats, haurem d'afegir més concentrat, i a igualtat del farratge, el valor de la depressió de la digestibilitat serà més alt i, en conseqüència, la taxa serà més baixa (augmenta el denominador)