

## El manejo de la alimentación para modificar la composición química de la leche



DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL Y PASTURAS  
FACULTAD DE AGRONOMIA-UDELAR



### Calidad composicional de la leche

Desde un punto de vista práctico, la alimentación es generalmente el único factor a disposición del productor para modificar los contenidos graso o proteico de la leche anormalmente bajos, ya que los otros factores están “fijos” en el corto plazo: estación del año, etapa de lactación, genotipo, etc.

### Calidad composicional de la leche

#### Composición de la leche: síntesis de lactosa, de grasa y de proteína

*La lactosa, la grasa y la proteína son los constituyentes principales de la leche. Son sintetizados en la glándula mamaria (lactosa, proteína y parte de la grasa) o extraídos de la sangre (resto de la grasa).*

### Calidad composicional de la leche

#### Composición de la leche: síntesis de lactosa, de grasa y de proteína

1 litro de leche contiene de 900 a 910 g de agua y 120 a 130 g de extracto seco compuesto de la siguiente manera:

Grasa	35 a 45 g/l
Proteína	32 a 36 g/l 95% proteína 5% urea
Lactosa	47 a 52 g/l
Minerales y vitaminas	7 a 7.5 g/l

## Calidad composicional de la leche

### *Síntesis de lactosa*

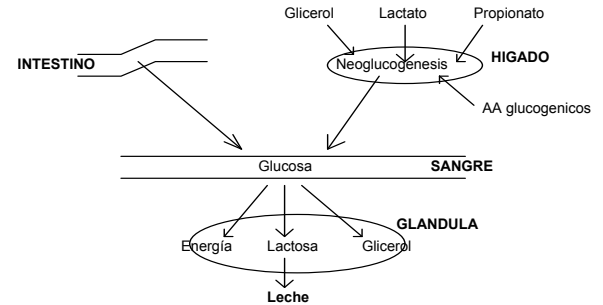
El contenido de la leche en lactosa es relativamente constante (50 g/l) con algunas variaciones según el contenido de minerales de la leche. La lactosa y los minerales regulan la presión osmótica, y por lo tanto la salida de agua de la glándula mamaria para constituir la leche.

La totalidad de la lactosa es sintetizada por la glándula a partir de la glucosa circulante en sangre. La glucosa necesaria para esta síntesis tiene dos orígenes:

- absorción intestinal de glucosa proveniente del almidón no degradado en el rumen
- síntesis a nivel del hígado (neoglucogenesis) a partir de las sustancias glucogenicas. Esta es la principal fuente de glucosa, entre el 80 a 90% de los requerimientos de la vaca son cubiertos por esta vía. Una disminución del aporte energético redundará en una menor producción de leche.

## Calidad composicional de la leche

### *Síntesis de lactosa*



## Calidad composicional de la leche

### *Efecto "dilución"*

Los contenidos de grasa y proteína bajan cuando la leche aumenta e inversamente.

El contenido de grasa como el contenido proteico, no es más que el resultado de la dilución de una cierta cantidad de materia segregada en un cierto volumen de agua lactosada. Una caída de los contenidos puede ser debida tanto a una disminución de las cantidades de materia segregada como a un aumento del volumen de agua e inversamente para una aumento de los contenidos de grasa y proteína.

Por consiguiente, en el estudio de la variación de los contenidos butirico y proteico, es necesario siempre comenzar por observar la evolución de la producción de leche (una caída de los contenidos puede ser normal si el volumen de leche aumenta).

## Calidad composicional de la leche

### *Síntesis de la grasa*

La grasa de la leche esta compuesta por triglicéridos que son ésteres de glicerol y tres ácidos grasos. Esta tiene dos orígenes:

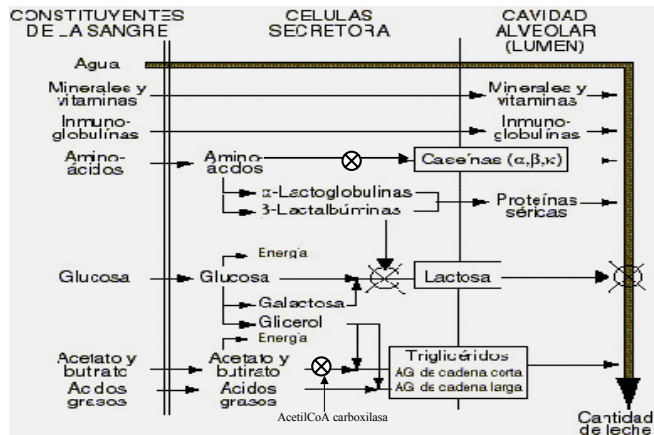
- síntesis por la glándula que representa 40% aproximadamente de los ácidos grasos segregados en la leche. Se sintetiza a partir del acetato y del butirato que circulan en sangre y provienen de la fermentación de los alimentos a nivel del rumen. El acetato contribuye en 80% a esta síntesis y el butirato en 15%. Los ácidos grasos así formados son principalmente de cadena corta.

- extracción de la grasa circulante en la sangre bajo la forma de triglicérido o ácidos grasos no esterificados. Estos precursores sanguíneos son de origen alimentario (los triglicéridos) o provienen de la movilización de las reservas corporales (ácidos grasos no esterificados).

Los ácidos grasos extraídos son principalmente de cadena larga (18 átomos de carbono). Si esta extracción es importante puede producirse una inhibición de la síntesis de ácidos grasos de cadena corta en la glándula, que puede llegar incluso a mermar la cantidad total de grasa de la leche.

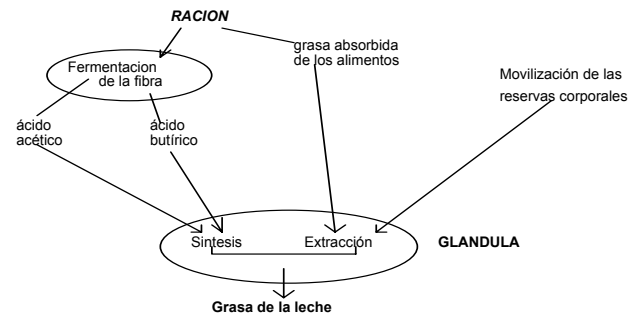
## Calidad composicional de la leche

### Síntesis de los componentes de la leche



## Calidad composicional de la leche

### Síntesis de la grasa



## Calidad composicional de la leche

### El contenido de grasa de la leche

#### Efecto de la subnutrición energética

#### Proporción de concentrado en la ración

#### Tipo de concentrado en la ración

- Tipo de cereales y tipo de almidón
- Glúcidos parietales (celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas)
- Glúcidos solubles (fructosanas de la pastura, sacarosa, lactosa)
- Forma de presentación de los cereales

#### Fibrosidad de la ración

#### Aporte de lípidos alimentarios

## Calidad composicional de la leche

### Efecto de la subnutrición energética

La reducción aportes energéticos se traduce por disminución de la cantidad de leche y por una movilización de las reservas corporales lipídicas, lo cual puede resultar en un aumento del contenido graso de la leche

	Correctamente alimentados	Subalimentados
<b>Medición en 2ª semana</b>		
Leche (kg/vaca)	23.9	16.5
Grasa (kg/vaca)	1.04	0.83
Proteína (kg/vaca)	0.88	0.56
Grasa (%)	4.4	5.0
Proteína (%)	3.7	3.4
<b>Medición en 4ª semana</b>		
Leche(kg/vaca)	21.5	11.6
Grasa (kg/vaca)	0.96	0.54
Proteína (kg/vaca)	0.77	0.36
Grasa (%)	4.5	4.7
Proteína (%)	3.6	3.1

(Mitenell, 1985)

## Calidad composicional de la leche

Efecto de una reducción del nivel de aporte energético sobre el contenido graso y las proporciones de ácidos grasos largos de la leche

Aporte	leche (kg/d)	contenido graso (g/kg)	materia grasa (g/d)	C18:0 + C18:1 (%)	Autores
a voluntad	9.9	49	485	21.1	Stobbs y Brett, 1974
50% a voluntad (6 días)	7.2	54	389	33.6	
100% requerimientos	17.0	38.5	655	23.0	Decaen y Adda, 1970
50% req. (4 días)	13.5	47.3	639	38.5	

## Calidad composicional de la leche

Efecto de la reducción del nivel de alimentación al inicio de la lactancia sobre la producción de leche y el contenido graso (Journet y Hoden, 1984)

Periodo (semanas)	nivel alimentación	leche (kg/d)	contenido graso (g/kg)	perdida peso vivo (g/d)
1 - 8	Gorda-alto	30.4	40.8	- 232
	Gorda-bajo	28.9	43.6	- 1000
1 - 8	Flaca-alto	28.9	39.7	+ 250
	Flaca-bajo	26.0	39.1	+ 54

Gorda, Flaca: estado corporal al parto

## Calidad composicional de la leche

### Proporción de concentrado en la ración

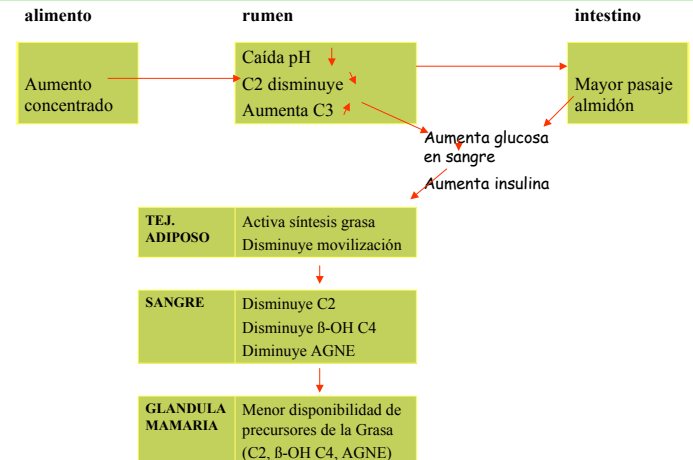
Efecto de los cereales sobre la grasa de la leche según la proporción forraje/concentrado de la dieta (Wiktorsson, 1971)

proporción forraje/concentrado (%MS)	56/44	47/53	40/60
Leche (kg)	4783	5325	5687
Contenido graso (g/kg)	39.6	39.2	37.0

0-40% concentrado → % grasa cambia poco

por encima 60% → valores muy bajos, inferiores a 20 g/kg.

## Calidad composicional de la leche



Teoría para explicar el síndrome de "low fat milk" con raciones ricas en almidón

### Calidad composicional de la leche

Las disminuciones del contenido graso con el aumento del concentrado se explican por:

-una modificación de los productos terminales de la digestión (producción aumentada de propionato en el rumen en detrimento de la producción de acetato)

- por un aumento de la producción de leche por un incremento del aporte energético en la dieta.

La variación del contenido graso presenta además un cambio de la composición en ácidos grasos de la leche: menos ácidos grasos cortos (ácidos grasos sintetizados por la glándula) y más ácidos grasos largos.

### Calidad composicional de la leche

#### a) Tipo de cereales y tipo de almidón

- los granos de cebada y de trigo cuyo almidón es rápidamente degradable

- los granos de maíz y de sorgo cuyo almidón es más resistente al ataque microbiano y por lo tanto de lenta degradación.

Con proporciones elevadas de alimento concentrado (> 40%) en la dieta, la disminución del contenido graso es más importante con cereales como la cebada que aumenta muy rápidamente la producción de propionato (C3) en el rumen en comparación al maíz que aumenta sobretodo la cantidad de almidón digerida en intestino y la absorción de glucosa.

### Calidad composicional de la leche

#### a) Tipo de cereales y tipo de almidón

Efecto del tipo de almidón (lentamente degradable o rápidamente degradable) sobre los productos terminales de la digestión y la composición de la leche (De Peters y Taylor, 1985)

Dieta base	Concentrado	Energía dieta (Mcal)	Relación F/C	C2 (%)	C3 (%)	C2/C3	Leche (kg/d)	G (g/kg)	P (g/kg)
Heno	Maíz	28.7	50/50	64.6	20.6	3.14	28.1	30.1	32.1
Heno	Cebada	27.9	50/50	62.9	21.9	2.87	27.4	28.1	32.3

### Calidad composicional de la leche

#### b) Glúcidos parietales (celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas)

El aumento del contenido graso de la leche con los concentrados ricos en glúcidos parietales se debe a que la proporción de ácido acético (% C2) en el rumen es más elevada que con los alimentos ricos en almidón. La mayor relación C2/C3 conduce sobretodo a un aumento de la lipogénesis mamaria de ácidos grasos cortos y medios (C4 a C16).

### Calidad composicional de la leche

#### b) Glúcidos parietales (celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas)

Efecto del tipo de concentrado (almidón o pared) sobre los productos terminales de la digestión y la composición de la leche

Dieta base	Concentrado	Energía dieta (Mcal)	Relación F/C	C2 (%)	C3 (%)	C2/C3	Leche (kg/d)	G (g/kg)	P (g/kg)
Heno	Cebada	25.3	40/60	62.7	17.6	3.6	20.6	36.9	32.8
Heno	Pulpa(*)	25.7	40/60	65.6	16.9	3.9	19.1	39.5	33.5
Heno	Cebada	31.1	50/50	65	18	3.7	25.9	39.4	32.0
Heno	Pulpa(*)	29.6	50/50	66	17	3.8	25.7	41.2	31.3

(\*) pulpa remolacha

### Calidad composicional de la leche

#### c) Glúcidos solubles (fructosanas pastura)

La pastura joven de primavera rica en glúcidos solubles principalmente fructosanas, puede ocasionar bajas del contenido graso como consecuencia de una disminución de la producción de ácido acético en el rumen

Efecto del contenido de glúcidos solubles de la pastura sobre la composición química de la leche (Astigarraga, 1994)

	Raigrás "rico" en glúcidos solubles	Raigrás "pobre" en glúcidos solubles
Relación glúcidos solubles/FDN (% MO)	50 %	34 %
Relación C2/C3	2.90	3.20
Leche (kg/d)	16.9	17.3
Contenido graso (g/kg)	41.4	44.1
Contenido proteico (g/kg)	32.9	32.5

### Calidad composicional de la leche

#### d) Forma de presentación de los cereales

Efecto de la forma de presentación del grano sobre la composición de leche

Dieta base	Forma presentación	% conc.	Composición de la leche	
			Grasa	Proteína
Raigrás	Maíz molido	50	36.0	33.6
	Maíz aglomerado	50	30.2	31.4
Alfalfa	Maíz aplastado	50	36.4	32.8
	Maíz molido fino	50	35.0	30.9
	Sorgo aplastado	50	36.5	30.7
	Sorgo molido fino	50	32.9	31.5

### Calidad composicional de la leche

El tratamiento físico o químico de los cereales tiene consecuencias sobre los sitios y la extensión de la digestión del almidón en el tracto digestivo de los rumiantes. A medida que disminuye el tamaño de partícula de los granos, aumenta la proporción de almidón digerida en rumen

Tratamiento	Digestibilidad en % del almidón ingerido	
	Rumen	Total
<b>Maíz</b>		
aplastado	71.8	93.2
molido	77.7	93.5
ensilado húmedo y aplastado	86.0	94.6
<b>Sorgo</b>		
aplastado	67.8	86.4
ensilado húmedo y aplastado	86.2	93.6

## Calidad composicional de la leche

### Fibrosidad de la ración

Figura 1 - Efecto de la granulometría de la ración sobre el contenido graso de la leche (Sauvant, 2000)

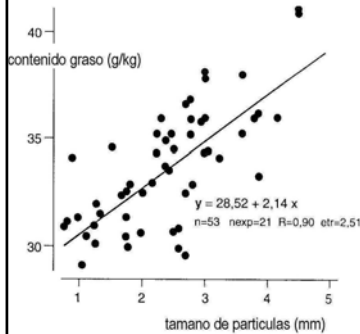
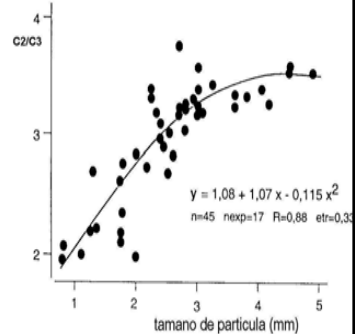


Figura 2 - Efecto de la granulometría de la ración sobre la relación acetato/propionato ruminal (Sauvant, 2000)



## Calidad composicional de la leche

### Fibrosidad de la ración

La reducción del tamaño de partícula por debajo de 3 a 4 mm afecta el pH del fluido ruminal, asociado a la disminución de la duración de la masticación y por lo tanto de la salivación, reduciendo así el aporte de sustancias buffer al contenido ruminal. La disminución del pH modifica la orientación de las fermentaciones ruminales. La producción de acetato, principal precursor de la síntesis de ácidos grasos cortos de la leche, disminuye linealmente hasta valores de pH de 5 (Erfle et al., 1982).

## Calidad composicional de la leche

Efecto del tamaño de partícula del forraje sobre la composición de la leche (Hoden y Coulon, 1991)

	Heno molido fino	Heno molido grueso
Consumo (kg MS/d)	23.0	22.4
Leche (kg/d)	28.3	28.0
Grasa (g/kg)	29.0	37.0
Proteína (g/kg)	30.0	31.0

## Calidad composicional de la leche

### Aporte de lípidos alimentarios

Respuesta de la producción lechera (LCG) a la suplementación con lípidos en la ración (Journet y Hoden, 1984)

Fuente lipídica	Respuesta en relación a testigo (%)		Numero de ensayos	
	Promedio	Extremos	Respuesta positiva	Respuesta negativa
Aceite	98	65 a 110	12	12
Semilla	104	72 a 119	20	5
Sebo	104	90 a 129	17	6

## Calidad composicional de la leche

### Aporte de lípidos alimentarios

#### Efecto del aporte de ácidos grasos largos a la glándula:

- a nivel digestivo los ácidos grasos principalmente los ácidos grasos polinsaturados C18:2 y C18:3, tienen un efecto depresivo sobre las fermentaciones ruminales, lo cual resulta en una baja de la digestibilidad del resto de la ración y principalmente de los glúcidos parietales, una baja de la producción de ácidos grasos volátiles y una proporción aumentada de ácido propiónico a expensas del ácido acético
- a nivel del metabolismo de la glándula mamaria, la capacidad de extracción de ácidos grasos largos es progresivamente saturada y el suplemento de ácidos grasos extraídos ejerce una inhibición sobre la síntesis de ácidos grasos cortos y medios (C10 a C16).

## Calidad composicional de la leche

### Aporte de lípidos alimentarios

El aporte de lípidos alimentarios modifica la composición de ácidos grasos de la leche, aumentando la proporción de ácidos grasos largos

Efecto de la incorporación de semilla de algodón entera en la dieta de vacas lecheras en pastoreo de alfalfa (INTA Rafaela, 1998)

	Solo pasto	Pasto + 3.5 kg MS sorgo	Pasto + 2.9 kg MS algodón
Leche (kg/d)	21.1	23.0	22.6
LCG (kg/d)	18.6	20.3	20.4
Grasa (g/kg)	32.1	32.2	33.5
Grasa (kg/d)	0.677	0.741	0.757
Proteína (g/kg)	30.8	30.4	31.0
Proteína (kg/d)	0.650	0.700	0.700
Ácidos grasos de la leche			
C6 - C14 (%)	23.7	22.7	20.7 *
C18 (%)	8.6	9.7	11.2 *

## Calidad composicional de la leche

### Síntesis de la proteína

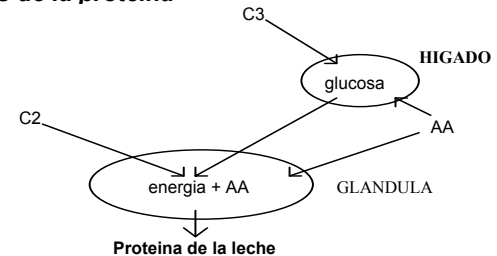
95% de la materia nitrogenada de la leche esta compuesta por proteína, el resto esta constituido por compuestos no proteicos como la urea. Entre las proteínas se distingue la caseína que representan el 80% del total de la proteína, y las proteínas del lactosuero.

Las proteínas son sintetizadas a partir de los aminoácidos circulantes en la sangre y extraídos por la glándula.

Estos aminoácidos provienen directamente de la absorción intestinal, luego de la digestión, de las proteínas microbianas sintetizadas en rumen y de las proteínas alimentarias que entran en intestino. Puede provenir también, pero por una parte menor, de las proteínas corporales movilizadas

## Calidad composicional de la leche

### Síntesis de la proteína



La síntesis de las proteínas, que son largas cadenas de 120 a más de 200 aminoácidos es muy exigente en **energía**, la cual es suministrada por el ácido acético proveniente de la digestión en rumen y de la glucosa.

La síntesis proteica utiliza 60% de la energía necesaria para el conjunto de las síntesis realizadas a nivel de la glándula, la síntesis de la grasa utiliza 30% y la de la lactosa 10%.

## Calidad composicional de la leche

### El contenido de proteína de la leche

#### Nivel energético

#### Tipo y nivel de proteína

*Aporte de proteína degradable*

*Aporte de proteína no degradable*

## Calidad composicional de la leche

### El contenido de proteína de la leche

*El contenido proteico de la leche depende del nivel energético del total de la dieta. El tipo y nivel de proteína de la dieta tienen poca influencia, cuando el aporte proteico esta acorde a los requerimientos de la vaca.*

## Calidad composicional de la leche

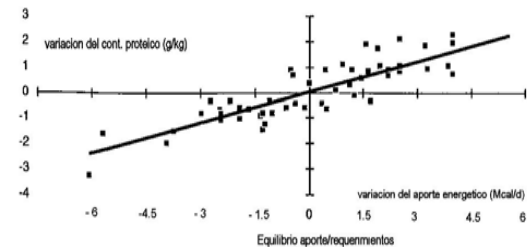
### Nivel energético

Es el principal factor limitante del contenido de proteína de la leche. Un aumento de los aportes energéticos favorece a la vez la síntesis de proteínas de origen microbiano en el rumen y la síntesis mamaria de proteínas de la leche a partir de aminoácidos circulantes en la sangre.

## Calidad composicional de la leche

### Nivel energético

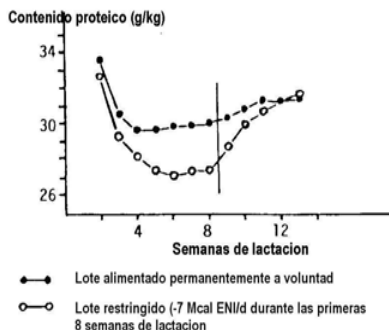
Figura 4 - Respuesta marginal del contenido proteico de la leche a la variación de energía de la dieta (Coulon y Remond, 1985)



## Calidad composicional de la leche

### Nivel energético

Figura 5 - Efecto de la subalimentación sobre el contenido proteico de la leche (Coulon et al., 1985)

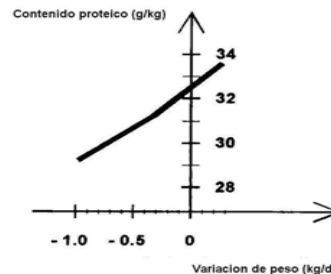


El lote de vacas que recibió una alimentación restringida durante 8 semanas presentó un contenido proteico inferior en 2.7 g/kg de leche, retomando el mismo nivel que el lote de animales correctamente alimentados luego de 3 semanas de alimentación a voluntad.

## Calidad composicional de la leche

Las evoluciones del peso vivo y del estado corporal son buenos indicadores del balance energético → la observación de la evolución del estado corporal de las vacas lecheras constituye una medida práctica para diagnosticar una disminución del contenido de proteína de la leche explicada por una deficiencia energética

Figura 6 - Relación entre la evolución del peso y el contenido proteico de la leche (Remond, 1985)



## Calidad composicional de la leche

### Nivel energético

el nivel energético puede mejorarse ya sea por la vía del aumento de la cantidad de alimento ofrecido o por el incremento de la concentración energética de la dieta

## Calidad composicional de la leche

### Nivel energético

Efecto de la cantidad de pastura ofrecida sobre la producción y la composición de la leche

Ofrecido pastura (kg MS/v/d)	Producción de leche (kg/d)	Proteína (g/kg)	Grasa (g/kg)	Autor
12.5	14.0	32.2	37.4	Le Du et al., 1979
25.0	17.1	33.1	35.6	
37.5	17.7	33.4	34.8	
12.6	9.4	29.9	44.5	Suksombat et al., 1994
20.2	12.4	29.5	43.2	
42.5	15.6	31.9	41.7	

## Calidad composicional de la leche

### Nivel energético

Efecto de la suplementación energética en dietas a base de pasturas sobre la producción y la composición de la leche

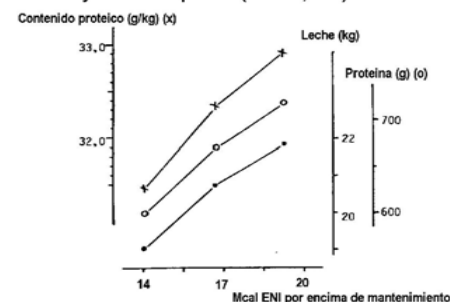
Dieta base	Concentrado (kg/d)	Energía dieta	Proporción concentrado (% MS total)	Leche (kg/d)	P (g/kg)	G (g/kg)
Ensilaje alfalfa	12		63	24.6	31.0	35.1
	9		52	23.6	31.0	41.1
	6		40	21.6	30.1	40.7
	3		23	17.7	29.4	40.7
Pastura	7	219 MJ EM	30	23.1	35.0	44.4
	0	176 MJ EM	0	20.1	32.8	44.6

## Calidad composicional de la leche

### Nivel energético

A diferencia de lo que se observa en la variación del contenido graso al aumentar la producción de leche, el contenido proteico aumenta con la mejoría de la producción. Ello se traduce por un aumento de la cantidad de proteína secretada explicado en un 70% por la cantidad de leche producida y un 30% por el aumento del contenido proteico

Figura 7 - Efecto del nivel de aporte energético sobre la producción de leche y el contenido proteico (Remond, 1985)



## Calidad composicional de la leche

### Tipo y nivel de proteína

Un aumento del nivel nitrogenado de la ración no mejora el contenido proteico a menos que éste sea limitante en cantidad y/o en calidad con respecto a los requerimientos de los animales. Cuando los requerimientos energéticos y proteicos de la vaca lechera están correctamente cubiertos, el suplemento proteico no tiene efecto sobre el contenido de proteína de la leche, sólo el contenido de NNP (nitrógeno no proteico) de la leche aumenta.

## Calidad composicional de la leche

### Nivel de proteína

Efecto del nivel de aporte proteico sobre la producción de leche y las concentraciones de proteína y de nitrógeno no proteico (Rook y Line, 1962)

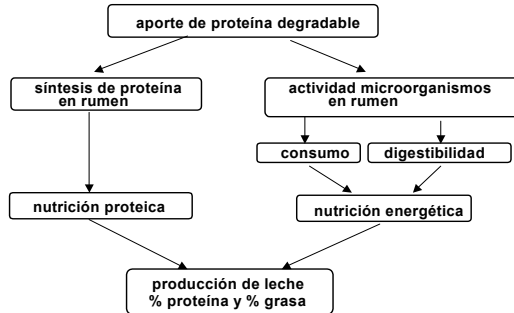
Aporte proteico (% requerimientos)	Producción de leche (kg/d)	Contenido proteico (N x 6.38) (g/kg)	Nitrógeno no proteico (g/kg)
80	15.3	30.5	0.18
100	16.2	30.7	0.22
125	16.2	30.6	0.26
165	16.4	30.5	0.33

el aporte de proteína en dietas que se encuentran por debajo de los requerimientos proteicos de la vaca (80%) mejora conjuntamente la producción y el contenido de proteína de la leche.

## Calidad composicional de la leche

¿Cómo incide el aporte de proteína degradable en la nutrición y en la producción de las vacas lecheras recibiendo una dieta carenciada en proteína?

Figura 8 - Efecto del aporte de proteína degradable sobre la nutrición de la vaca lechera



## Calidad composicional de la leche

**¿Cómo incide el aporte de proteína degradable en la nutrición y en la producción de las vacas lecheras recibiendo una dieta carenciada en proteína?**

Un déficit de proteína degradable a nivel ruminal, tiende a disminuir la actividad celulolítica y la degradación de las paredes celulares en el rumen y por lo tanto, a aumentar el tiempo de retención de los alimentos y el llenado del rumen → la digestibilidad y el valor energético de la ración disminuyen, al igual que el consumo de forraje.

El agregado de proteína degradable a una ración carenciada en proteína mejora la nutrición proteica y la nutrición energética

⇒ el aumento del aporte de energía mejora la producción de leche y el contenido de proteína de la leche

## Calidad composicional de la leche

### Nivel de proteína

Efecto del contenido de PB del suplemento sobre la producción y la composición de la leche de vacas con una dieta base carenciada en proteína

	Rearte y Baker (1990)		Delagarde et al (1999)	
	Dieta base raigrás maduro (11% PB)		Dieta base raigrás maduro (11% PB)	
	Maíz (8% PB)	Afrechillo trigo (17% PB)	0	3 kg Torta Soja
Leche (kg/d)	10.4	12.2	19.6	24.8
Proteína (g/kg)	30.4	31.7	29.5	30.6
Proteína/día	316	387	566	740
Grasa (g/kg)	32.0	34.0	39.4	38.0
Grasa /día	333	415	770	929
pH ruminal	6.57	6.40	6.2	5.9
NH3 (mg/l)	36	46	15	27

## Calidad composicional de la leche

### Aporte de proteína no degradable

Los aminoácidos (AA) limitantes son principalmente la lisina y la metionina para la producción de leche.

-para los animales con una producción media (20 l), las proteínas microbianas cubren una parte elevada cubren la totalidad de los requerimientos de los animales, y el equilibrio en AA indispensables es correcto para la producción de leche

- para animales de alta producción (35 a 40 l) pueden existir riesgos de desequilibrio sobre todo si la ración esta compuesta en una proporción importante por maíz (ensilaje, grano, glutenmeal ...), que es particularmente pobre en lisina.



### Conclusiones

***para el contenido proteico:***

el primer factor a analizar es la alimentación energética → en este caso, un bajo contenido proteico se acompaña de una caída rápida de la producción de leche.

Los factores que pueden estar actuando son: baja disponibilidad de pasturas, escaso suministro de concentrado energético y también debe tomarse en cuenta el aporte de proteína degradable para el buen funcionamiento ruminal (disminución del “efecto llenado” y mejora de la digestibilidad de la fibra y por lo tanto del total de la ración)

### Conclusiones

***para el contenido graso:***

luego de descartar un posible efecto de dilución por una mayor producción de leche,

el análisis debería priorizar las características de la “fibrosidad” de la dieta, es decir que la proporción de forraje o de “fibra efectiva” sea suficiente para permitir un buen funcionamiento ruminal (rumia y salivación suficiente).